

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Martin Malý

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program:

Strojírenská technologie

Zaměření:

Obrábění a montáž

Porovnání dvou způsobů výroby zápustky pro klikovou hřídel ve firmě ŠKODA Auto a.s. Mladá Boleslav

Comparison of Two Working Method of Die Block for Crankshaft in ŠKODA Auto a.s. Mladá Boleslav

KOM – 1207

Martin Malý

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant: Ing. Petr Svoboda – ŠKODA Auto a.s.

Počet stran: 60

Počet příloh 1

Počet tabulek: 3

Počet obrázků: 42

4.1. 2013



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení : **Martin M A L Ý**
Studijní program : **B2341 Strojírenství**
Obor : **3911R018 Materiály a technologie**
Zaměření : **Obrábění a montáž**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Porovnání dvou způsobů výroby zápustky pro klikovou hřídel ve firmě ŠKODA Auto a.s. Mladá Boleslav

Zásady pro vypracování :

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Úvod a shrnutí poznatků o metodách CNC frézování a elektrojiskrového obrábění.
2. Rozbor stávajícího postupu výroby zápustek pro klikové hřídele.
3. Návrh nové technologie výroby zápustek s finálním elektroerozivním obráběním.
4. Návrh metodiky pro porovnání stávající a nově navrhované technologie výroby zápustek.
5. Nový postup výroby zápustek - realizace zkoušek.
6. Porovnání stávajícího s nově navrhovaným způsobem výroby zápustky pro klikovou hřídel ve firmě ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav.
7. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků.



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva : cca 30 - 40 stran textu
- grafické práce : obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu) :

1. ŘASA, J., GABRIEL, V., *Strojírenská technologie 3 - 1.díl - Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 1. vyd. Praha: Scientia, spol. s.r.o., 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
2. MORÁVEK, R., *Nekonvenční metody obrábění*. Rec. FAJT, J. 2. vyd. Plzeň: ZČU, 1999. 102 s. ISBN 80-7082-518-9.
3. FOREJT, M., PÍŠKA, M., *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT, Cerm, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. ŠTULPA, M., *CNC obráběcí stroje*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 128 s. ISBN 80-7300-207-8.
5. MLEJNEK, M. *Návrh hospodárného postupu obrábění tvarových částí tlakových forem pro lití hliníkových slitin ve firmě ŠkodaAuto Mladá Boleslav. [Diplomová práce]*. Liberec, TU v Liberci, 2005. 76 s.

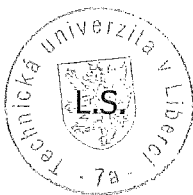
Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Petr Svoboda
- ŠKODA Auto a.s.

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry



Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci, dne 11. 10. 2012

Porovnání dvou způsobů výroby zápustky pro klikovou hřídel ve firmě ŠKODA Auto a.s. Mladá Boleslav

ANOTACE:

Bakalářská práce se zabývá studiem procesu obrábění tvarové části zápustky na klikovou hřídel pro kování za tepla na oddělení výroby metalurgického nářadí ve firmě ŠKODA Auto a.s. v Mladé Boleslavi. Práce se zaměřuje především na kalibrovací operaci (dokončování tvaru hotově) s cílem porovnat dva způsoby výroby zápustky pro klikovou hřídel a to nekonvenční metodu obrábění elektroerozivní hloubení se stávající technologií frézování. Důraz je kladen na ceny nástrojů, výpočet strojních časů a jejich dopad na celkové náklady výroby.

Comparison of Two Working Method of Die Block for Crankshaft in ŠKODA Auto a.s. Mladá Boleslav

ANNOTATION:

A Bachelor Thesis deals with study of machining process of the shaped part of the die block for hot forging in a department production of metallurgical tools in company ŠKODA Auto a.s. in Mladá Boleslav. The Thesis focuses on the calibrating operation (final pass of shape) with the aim of compare two working method of the die block for the crankshaft, unconventional machining method – electroerosion digging with current technology – milling. The stress is laying on the tool prices, calculation of the machining time and their impact on the total production costs.

Klíčová slova: Obrábění, Frézování, Elektroerozivní hloubení

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2013

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	60
Počet příloh:	1
Počet obrázků:	42
Počet tabulek:	3
Počet diagramů:	1

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom po-vinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 4.1. 2013

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za konzultace, cenné rady a zájem s jakým sledoval daný úkol.

Děkuji panu Ing. Petru Svobodovi ze ŠKODA Auto a.s. a.s. za odborné vedení a rady, za jeho čas, který mi věnoval, a za poskytnutí cenných informací k mé bakalářské práci.

Děkuji panu Leoši Lepšíkovi ze ŠKODA Auto a.s. za jeho vstřícný přístup a pomoc během mé práce.

Děkuji zaměstnancům na sledovaných pracovištích za ochotu při spolupráci a za jejich praktické připomínky.

Seznam zkratek a symbolů

2D		dvourozměrné
3D		trojrozměrné
a.s.		akciová společnost
apt		výstupní protokol z CAM softwaru
CAD		Computer aided design - 2D a 3D počítačové projektování
CAM tače)		Computer Aided Manufacturing (programování CNC pomocí počítače)
CNC		Computer Numerical Control
EDM		Elektro Discharge Maschining
HRc		měřítka tvrdosti podle Rockwella
NC		Numerical Control
NMO		Nekonvenční metoda obrábění
TK		technická kontrola struktury materiálu
TP		technologický postup
VBD		vyměnitelné břitové destičky
VN		výroba nářadí a přípravků ve ŠkodaAuto, a.s.
a_p	[mm]	axiální hloubka řezu
a_e	[mm]	radiální hloubka řezu
CG_{180}	[Kč/dm ³]	cena grafitu EDM 180
CN_{KE178}	[Kč]	celkové náklady na kalibraci 178 kusů elektroerozivní metodou
CN_{KF178}	[Kč/rok]	celkové náklady na kalibraci 178 kusů frézováním
CPP_{d8K}	[-]	celkový počet renovací za rok
CPS_E	[-]	celkový počet snížení elektrody
D	[mm]	průměr frézy
F_{d6G}	[Kč]	cena frézy \varnothing 6mm

F_{d8G}	[Kč]	cena frézy \varnothing 8mm
F_{d8K}	[Kč]	cena frézy \varnothing 8mm
F_{d16G}	[Kč]	cena frézy \varnothing 16mm
f_z	[mm/zub]	posuv na zub
GAP	[mm]	pracovní mezera
I	[A]	pracovní proud výboje
I_e	[A]	střední vybíjecí proud
JC_{Nes}	[Kč]	poměrná cena nářadí na kalibraci tvarové elektrody
JC_{fz}	[Kč]	jednorázová cena nářadí na kalibraci jedné klikové zápustky
JC_{NE}	[Kč]	poměrná cena nářadí na výrobu tvarové elektrody
M	[mm]	parametr jiskrové mezery
N	[ks/rok]	počet vyrobených zápustek za rok
n	[ot/min]	otáčky za minutu
NCF_{d8K}	[ks/rok]	počet nástrojů na výrobu 178 kusů
N_E	[ks]	počet vyrobených zápustek do renovace elektrody
NK_E	[Kč]	náklady na kalibraci klikové zápustky elektroerozivním hloubením
NK_f	[Kč]	náklady na kalibraci jedné klikové zápustky frézováním
NNF_{fz178}	[Kč/rok]	náklady na nákup fréz \varnothing 8mm za rok
NPS	[Kč/hod]	náklady na pracovní sílu
NRF_{fz178}	[Kč/rok]	náklady na renovaci fréz \varnothing 8mm za rok
q	[-]	perioda výboje
RF_{d8K}	[Kč]	cena přestření a přepovlakování frézy \varnothing 8mm
RHS_F	[Kč/hod]	režijní hodinová sazba stroje Fidia Digit 165
RHS_R	[Kč/hod]	režijní hodinová sazba stroje Roboform 810
RHS_T	[Kč/hod]	režijní hodinová sazba stroje Tajmac MCFV1680
Rz	[mm]	nerovnost profilu
$SNCF_{d8K}$	[ks/rok]	počet nových nástrojů \varnothing 8mm potřebných za rok

T_{1k}	[hod]	čas frézování svislých ploch tvaru na čisto
T_{2k}	[hod]	čas frézování horizontálních ploch tvaru na čisto
T	[s]	doba periody
t_0	[s]	prodleva
t_e	[s]	doba trvání výboje
T_{El}	[hod]	celkový čas výroby tvarové elektrody
T_{Els}	[hod]	čas snižování tvarové elektrody
t_d	[s]	zpoždění výboje
T_h	[hod]	čas elektroerozivního hloubení
t_i	[s]	doba impulsu
T_{ZK0001}	[hod]	čas hrubování elektrody frézou \varnothing 16mm
T_{ZK0002}	[hod]	čas dohrubování elektrody frézou \varnothing 16mm
T_{ZK0003}	[hod]	čas dohrubování elektrody frézou \varnothing 8mm
T_{ZK0004}	[hod]	čas kalibrování elektrody frézou \varnothing 8mm
T_{ZK0005}	[hod]	čas ohranění elektrody frézou \varnothing 6mm
U_e	[V]	střední vybíjecí napětí
U_k	[V]	napětí při zhasnutí výboje
U_Z	[V]	napětí na prázdno
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
VC_{TE}	[Kč]	vstupní výrobní cena tvarové elektrody
VC_{Tes}	[Kč]	výrobní cena snížení tvarové elektrody
V_{El}	[dm ³]	objem polotovaru na grafitovou elektrodu
v_f	[mm.min ⁻¹]	vedlejší řezný pohyb
z	[-]	počet zubů
δ	[%]	objemové opotřebení
\varnothing	[mm]	průměr nástroje

Obsah

Seznam zkratk a symbolů.....	6
Obsah.....	9
1. Úvod a cíle práce.....	11
2. Poznatky z technologie frézování.....	12
2.1 Základy procesu obrábění - frézování	12
2.2 Obrobitelnost materiálů, nástroje určené pro frézování	17
2.3 CNC stroje a jejich vývoj	18
3. Poznatky z technologie elektroerozivního obrábění	21
3.1 Využití elektroerozivního obrábění	21
3.2 Princip elektroerozivního hloubení.....	21
3.3 Zdroje elektrické energie	22
3.4 Časový průběh výboje	24
3.5 Regulace přísuvu nástrojových elektrod.....	25
3.6 Pracovní prostředí (dielektrikum)	26
3.7 Materiály nástrojových elektrod	27
4. Rozbor stávajícího postupu výroby kovací zápustky pro klikovou hřídel... 30	
4.1 Struktura závodu na výrobu nářadí.....	30
4.2 Výroba metalurgického nářadí.....	31
4.3 Kovací zápustka na klikovou hřídel.....	33
4.4 Rozbor stávajícího postupu výroby	34
4.5 Analýza kalibrovací operace na CNC frézce	35
4.6 Dohotovnění tvaru leštěním	37
5. Návrh technologie výroby zápustky s elektroerozivním obráběním.....	38
5.1 Podstata změny technologie	38
5.2 Návrh nového postupu výroby kovací zápustky	38
5.3 Technologický postup výroby elektrody	39

5.4 Zpracování CAD/CAM programů	40
6. Metodika pro porovnání stávající a nové výroby zápusky	45
6.1 Cíle a podstata porovnání	45
6.2 Použité stroje pro zkoušky	45
7. Realizace zkoušek na novou technologii	47
7.1 Výroba zkušební elektrody	47
7.2 Zkouška vyjiskřování klikové zápusky	48
7.3 Ruční opracování klikové zápusky	48
8. Porovnání frézovací a elektroerozivní metody obrábění	49
8.1 Ceny nástrojů, materiálu a práce	49
8.2 Náklady na kalibraci jedné klikové zápusky konvenční metodou	50
8.3 Náklady na kalibraci jedné klikové zápusky nekonvenční metodou	50
8.4 Porovnání obou metod s ohledem na celkové náklady za rok	52
9. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků	57
10. Seznam použité literatury	59
11. Seznam příloh	60

1. Úvod a cíle práce

Více než stoletá historie mladoboleslavské automobilky ŠKODA Auto a.s. je také historií výroby nářadí a nástrojů. Již v počátcích firmy Laurin & Klement byly v továrně vyráběny nástroje pro specifické potřeby výrobních provozů a nakupovalo se pouze všeobecné nářadí jako čalounické jehly, kladiva, kleště a podobně. Vlastní výroba nářadí jako obor se začala rozvíjet až ve 20. letech minulého století, po sloučení společnosti Laurin & Klement s plzeňskými závody Škoda, ve kterém již měli s vývojem a výrobou speciálního nářadí značné zkušenosti. Zásadní technický zlom ve stavbě i výrobě nářadí znamenal na začátku 50. let přechod od dřevěné karoserie k celokovové, reprezentované vozem Škoda 1200. Rovněž v oblasti odlitků a výkovků vyžadovala velkosériová výroba odpovídající nářadí a nástroje. Hlavní rozvoj výroby nářadí pro automobilovou produkci moderního typu nastal při zahájení hromadné výroby typu Škoda 1000 MB počátkem 60. let. V této době byla plně rozvinuta výroba karosářského nářadí, tlakových forem pro odlévání hliníku a kovacích zápustek. Provozy Výroby nářadí dnešní ŠKODA Auto a.s. jsou vybaveny technikou, která umožňuje po všech stránkách uspokojit potřeby mladoboleslavské továrny i požadavky dalších koncernových zákazníků na včasné a kvalitní dodávky lisovacího, metalurgického a svařovacího nářadí [8].

V současné době se všechny společnosti zabývající se strojírenskou výrobou snaží co nejvíce snižovat náklady na výrobu a zvyšovat produktivitu práce při zachování kvality výroby. Toho lze dosáhnout modernizací strojového parku a automatizací výroby s použitím CNC strojů. Díky snižování cen řídicí techniky i strojů vzhledem ke stále zvyšující se užitné hodnotě dochází ke snižování podílu tradičních konvenčních strojů nasazených ve výrobě.

V celosvětovém průměru se udává, že asi 40-60% technologických operací při výrobě nářadí se uskutečňuje nekonvenčními metodami obrábění, přesto nejpoužívanější technikou oddělování materiálu za účelem dosažení požadovaného tvaru výrobku je prováděno metodou konvenční třískovou na CNC frézkách a soustruzích [2].

Cílem této práce je srovnání dvou rozdílných technologií výroby jednoho nosného dílu z produkce nářadovny ŠKODA Auto a.s. (kovací zápustka pro klikový hřídel s označením 5-10-3534-1_P1) s cílem ověřit efektivitu výroby tohoto dílu pro daný roční objem výroby. Bude provedena podrobná analýza v současné době používané technologie třískového obrábění kovací zápustky se zaměřením na kalibrovací operaci tvaru. Současně budou vytvořeny podklady na alternativní technologii výroby dílu s využitím nekonvenční technologie obrábění (elektroerozivní hloubení). Tyto podklady budou v praxi experimentálně ověřeny a vyhodnocena časová a finanční náročnost obou variant s doporučením té efektivnější.

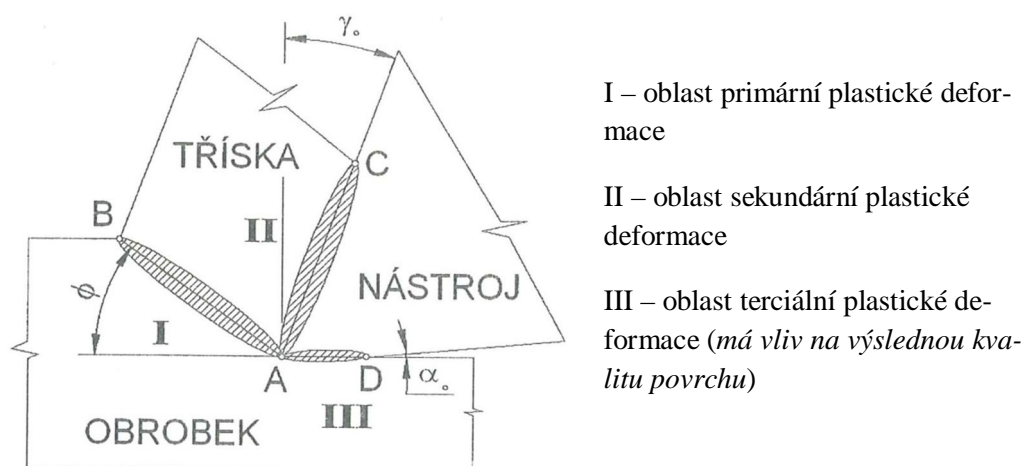
2. Poznatky z technologie frézování

2.1 Základy procesu obrábění - frézování

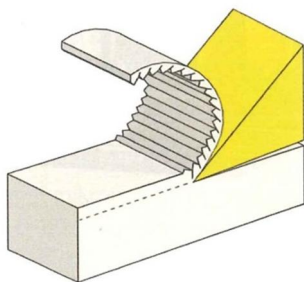
Technologie obrábění je velmi důležitá výrobní metoda strojírenské technologie. Používá se pro výrobu hotových kusů a výrobu nástrojů pro jiné výrobní technologie, jako je např. technologie tváření (zápustkové kování). Tato výrobní metoda je založena na specifickém silovém působení nástroje ve tvaru "klínu" na obráběný materiál. Z pohledu mechaniky kontinua, deformačního a lomového chování reálných materiálů, fyziky kovů, tribologie a dalších poznávacích disciplín se při tvorbě třísek jedná o vědní oblast s výskytem velkých smykových deformací a deformačních rychlostí ($10^3 - 10^8 \text{ s}^{-1}$), s velkými teplotními gradienty a toky na rozhraní tříska-nástroj-prostředí, probíhajících v malém objemu materiálu[3]. Tyto podmínky zpracování materiálů vytvářejí nové vlastnosti povrchů součástí.

Definice tvorby třísky

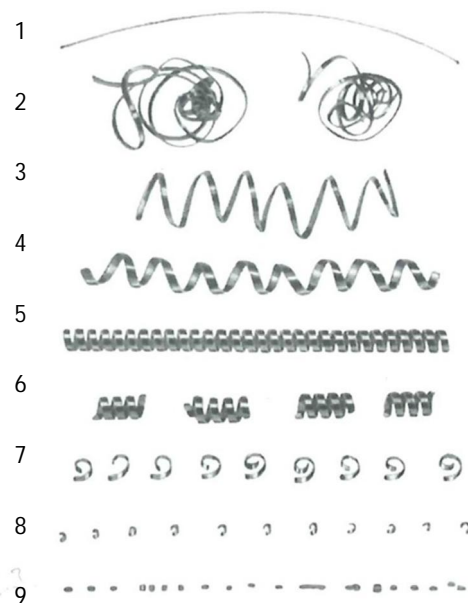
Obrábění kovů probíhá při postupné deformaci materiálu obrobku, v důsledku vtlačování břitu nástroje, která se zvyšuje až do jeho oddělení ve formě třísek. Tři základní oblasti plastických deformací jsou názorně ukázány na obr. 2.0. Výsledkem je opracovaný povrch, který musí splňovat dané kvalitativní požadavky. Způsob utváření třísky souvisí zejména s geometrií břitu nástroje (obr. 2.1), která je též důležitá pro životnost nástroje. Existuje několik druhů třísek a jejich základní rozdělení naleznete na obr. 2.3. Na obr. 2.2 je uveden jiný způsob rozdělení třísek a to podle firmy SECO z hlediska vhodnosti při obrábění na CNC strojích.



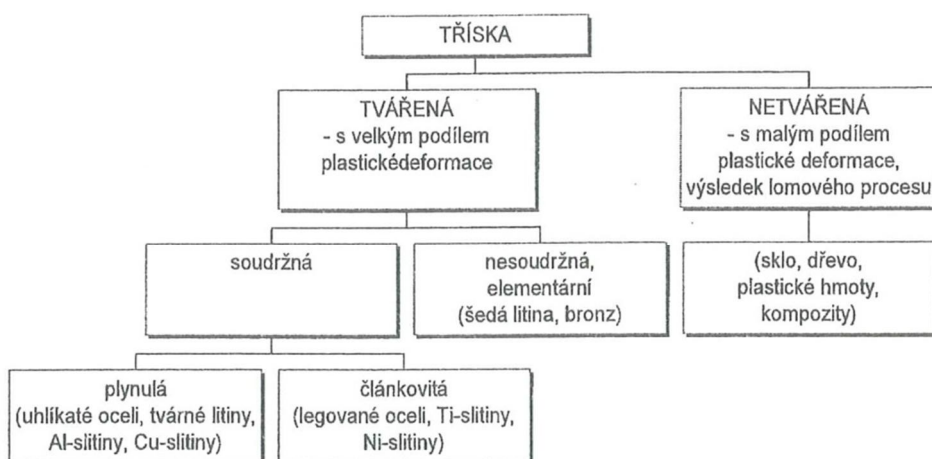
Obr. 2.0 Oblasti plastických deformací [3]



Obr. 2.1 Detail tvorby třísky [7]




Obr. 2.2 Dělení třísek podle firmy SECO. 1-5 nevyhovující, 6-9 vyhovující, 9 třísky přeu-
tvářené [3]

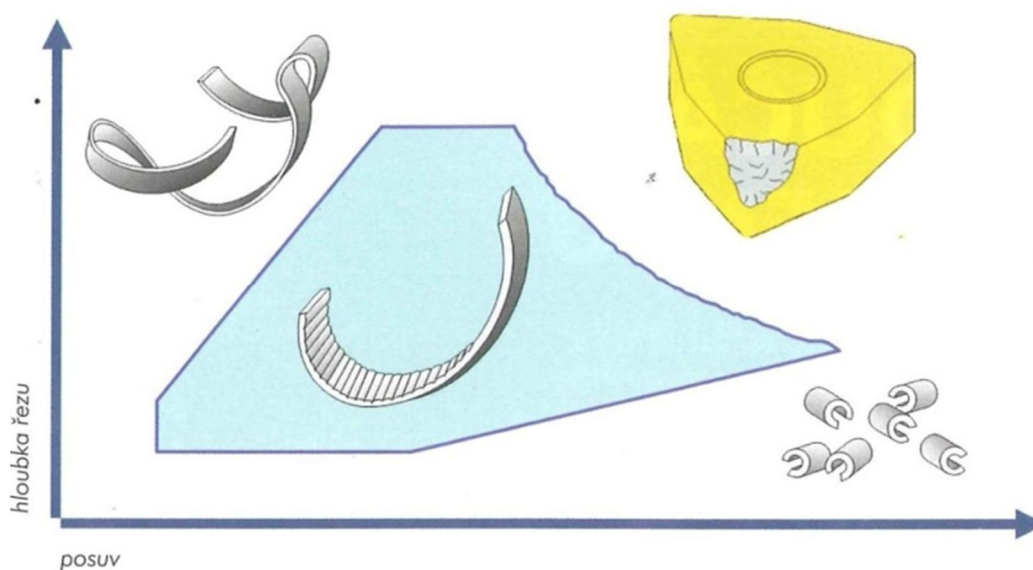


Obr. 2.3 Základní rozdělení druhů třísek [3]

Faktory ovlivňující tvorbu třísky jsou v zásadě děleny do čtyř skupin a to podle druhu nástroje, rezných podmínek, obráběného materiálu a způsobu chlazení místa řezu. Tyto skupiny jsou uvedeny v tabulce 2.0. Z hlediska automatizace jsou nejvhodnější třísky typu krátké spirály. Schéma utváření třísky v závislosti posuvu nástroje na hloubce řezu je zobrazeno na obr. 2.4.

Faktory ovlivňující utváření třísky			
			
nástroj	řezné podmínky	materiál	způsob chlazení
úhel čela úhel řezné hrany radius špičky geometrie řezné hrany a utvářeče třísek	posuv hloubka řezu tloušťka třísky (úběr) řezná rychlost	tvrdost pevnost v tahu houževnatost materiálové složení	obrábění za sucha chlazení emulzí Seco Jetstream

Tab. 2.0 Faktory ovlivňující utváření třísek [7]



Obr. 2.4 Tvorba druhu třísky v závislosti na posuvu a hloubce řezu [7]

Kinematika frézování

Frézování je obrábění rovinných nebo tvarových ploch, vnitřních nebo vnějších, vícebřitým nástrojem zvaným *fréza*. Stroje, na kterých se takto obrábí, se nazývají *frézky*. Řezný proces je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu [1].

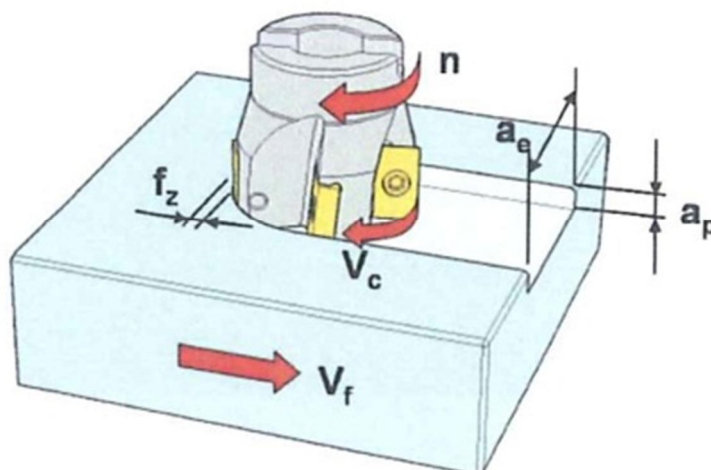
Hlavní pohyb při frézování koná fréza a je definován řeznou rychlostí v_c [m.min⁻¹] [3].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Vedlejší řezný pohyb v_f [mm.min⁻¹] koná zpravidla obrobek, pohyb je obvykle přímočarý, někdy otáčivý, nebo obecný pohyb po prostorové křivce a závisí na druhu frézy, hodnotě posuvu na zub f_z [mm/zub] a počtu zubů z .

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n$$

Délku dráhy, kterou urazí obrobek během pootočení frézy o jednu zubovou rozteč, nazýváme posuvem na zub f_z . Další udávané parametry při frézování jsou axiální hloubka řezu a_p [mm], radiální hloubka řezu a_e [mm] a posuv na otáčku f [mm/ot], detailnější zobrazení uvedených parametrů najdete na obr. 2.5.



Obr. 2.5 Znáznornění parametrů při frézování [7]

Volba řezných podmínek závisí na vlastnostech nástroje, stroje, obrobku i prostředí a na požadovaných parametrech frézovaných ploch obrobku. Je proto vhodné se řídit doporučeními výrobce nástrojů, uváděnými v katalogích a příručkách běžně dodaných při zakoupení fréz či volně přístupných na internetových stránkách daného výrobce.

Rozeznáváme dva základní způsoby frézování:

- frézování obvodem válcové frézy (*řeže pouze zuby na obvodě*),
- frézování čelem čelní frézy (*řeže současně zuby na obvodě a na čele*).

Podle pohybu nástroje vůči obrobku rozeznáváme frézování:

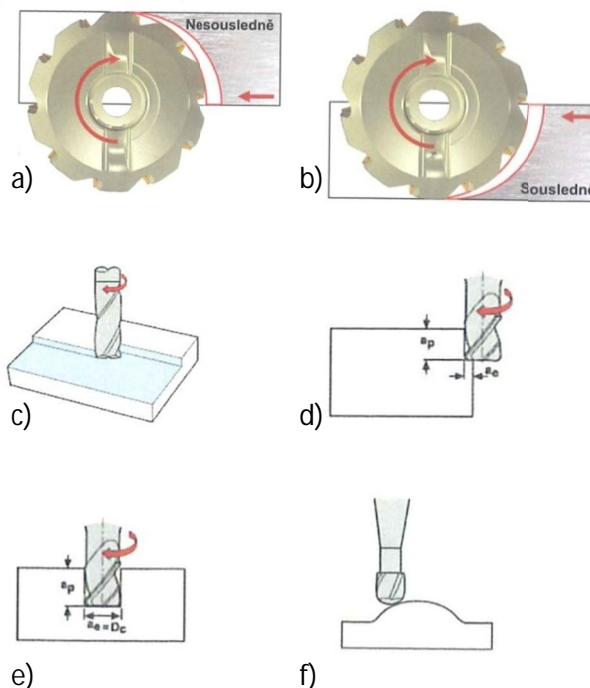
- sousledné,
- nesousledné.

Dle počtu přerušení:

- lehké,
- střední,
- těžké.

Dle obráběné plochy:

- rovinné,
- do rohu,
- drážkovací,
- kopírovací.

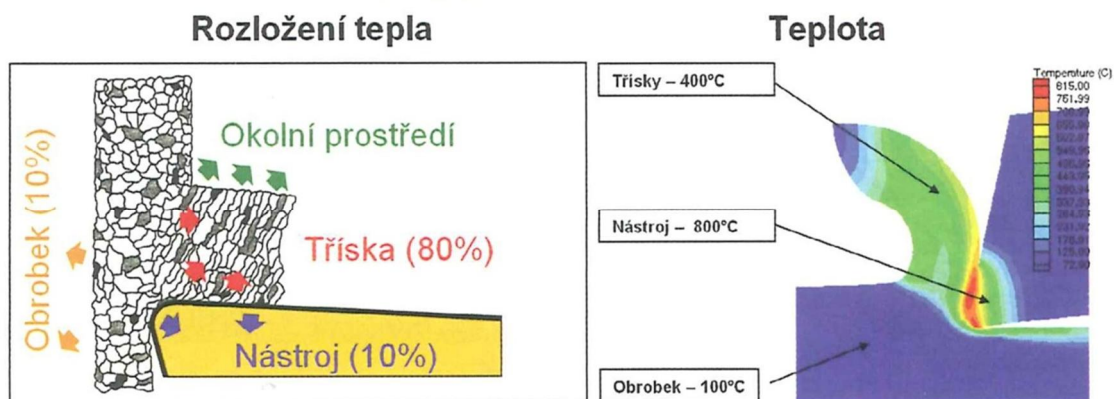


Obr. 2.6 Vybrané způsoby frézování: a) nesousledné, b) sousledné, c) rovinné, d) do rohu, e) drážkovací, f) kopírovací.

Z hlediska delší životnosti nástroje, vhodnějších směrů řezných sil a lepšímu průběhu tvorby třísky je nejpoužívanější frézovací smysl obrábění na CNC obráběcích strojích sousledné frézování.

Teplo a teplota při frézování

Téměř veškerá mechanická energie vynaložená na tvorbu třísky se přeměňuje v energii tepelnou. Vzniklé teplo pak výrazně ovlivňuje řezný proces. Rozdělení tepelné energie a poměrný odvod tepla třískou, nástrojem, obrobkem, či procesní kapalinou není konstantní a je znázorněn na obr. 2.7, kde je také zobrazeno rozložení teploty při frézování. Největší množství tepla vzniká v oblasti primární plastické deformace obr. 2.0 a nejvyšší odvod tepla z ní zajišťuje tříska.



Obr. 2.7 Procentuální rozložení odvodu tepla z místa řezu [7]

Chlazení a mazání při frézování

Vhodným řezným prostředím lze obvykle zvýšit hospodárný úběr o 50 až 200% v porovnání s prací za sucha, prodloužit trvanlivost a životnost řezných nástrojů, zvýšit kvalitu obrobenej plochy [3]. Jako vhodné prostředí se nejčastěji volí procesní kapalina. Základní funkcí procesních kapalin je v první řadě chladicí schopnost poté mazací, čistící, ochrana obrobků před korozi a v neposlední řadě potlačení tvorby nárustků na nástroji. V praxi je však řada operací, při kterých není chlazení nutností jako např. frézování litiny (materiál obsahuje grafit, pracující jako pevné mazivo).

2.2 Obrobitelnost materiálů, nástroje určené pro frézování

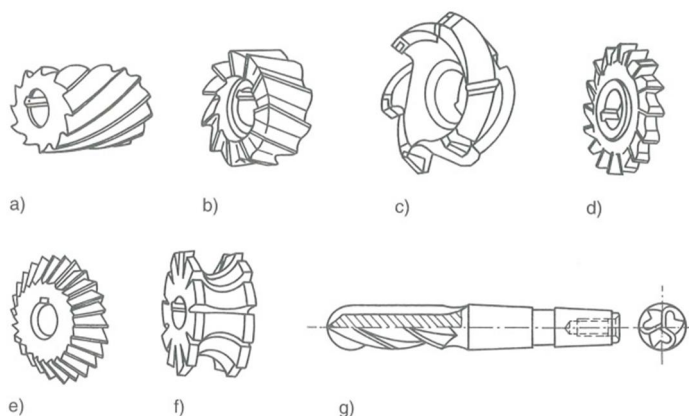
Rozumíme tím souhrnný vliv fyzikálních vlastností a chemického složení materiálů na průběh a na ekonomické, popř. i kvalitativní výsledky procesu řezání. Obrobitelnost závisí na mnoha faktorech, z nichž nejpodstatnější jsou:

- tepelné zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu (*obsah legujících prvků*),
- fyzikální a mechanické složení obráběného materiálu,
- metoda obrábění,
- řezné podmínky,
- geometrie nástroje.

Nástroje určené pro frézování

Frézy dělíme zejména podle:

- umístění břitů (*válcové, čelní, kotoučové, kuželové, tvarové*),
- průběhu ostří zubů (*s přímými zuby, se zuby do šroubovice*),
- upínání (*stopkové, nástrčné*),
- konstrukce (*monolitní, s vyměnitelnými břitovými destičkami, s vyměnitelnou frézovací hlavou*).



Obr. 2.8 Některé druhy fréz: a) válcová, b) čelní, c) frézovací hlava, d) kotoučová, e) kuželová, f) tvarová, g) stopková s kulovým čelem [1]

Při výrobě tvarových částí zápustek pro klikový hřídel se používá celá řada různých nástrojů od různých dodavatelů. Tyto nástroje mají rozdílné provedení umístění břitů, průběhu ostří či způsobu upínání. Velká většina jich je však konstruována s vyměnitelnými břitovými destičkami obr. 2.9 [5].



Obr. 2.9 a) Fréza čelní nástrčná s VBD D52R6 b) Fréza čelní kopírovací D12 R1,2

2.3 CNC stroje a jejich vývoj

Frézovací stroje – *frézky* – se vyskytují ve velkém počtu různých modifikací. Obvykle je rozdělujeme podle jejich konstrukce na *konzolové*, *rovinné* a *speciální*.

Vývoj v oblasti výrobních strojů ve strojírenství je v současnosti z velké části dán využitím výpočetní techniky. Proto jsou klasické *frézky* z velké části nahrazovány NC a CNC stroji. Jsou to vlastně *frézky* řízené příslušným softwarem, který zvyšuje jejich technickou hodnotu tím, že provádí rychle, přesně a spolehlivě opakující se činnosti, nahrazuje člověka, a tedy zvyšuje produktivitu práce. Tyto automatizované stroje doplněné manipulačními prostředky a prostředky kontroly kvality tvoří pružné výrobní linky.

Definice CNC stroje

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfa-numerických znaků, které jsou rozděleny do skupin, které se nazývají bloky či věty [4].

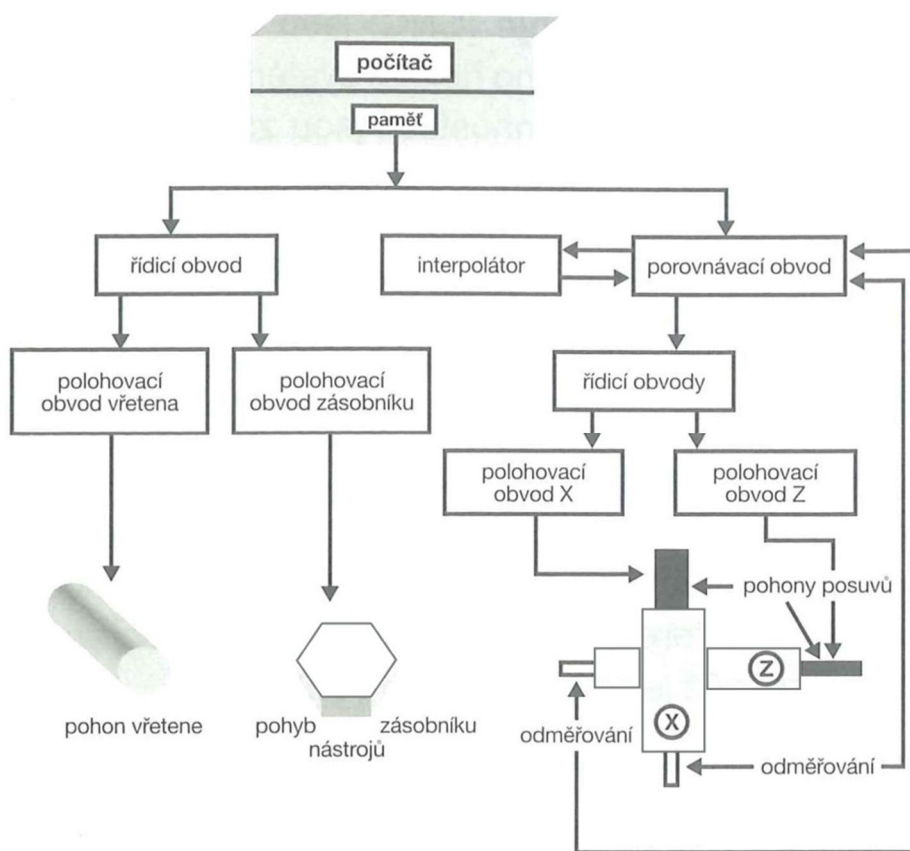
Informace, které program obsahuje, lze rozdělit na:

- geometrické (*popisují dráhy nástroje*),
- technologické (*stanovují technologii obrábění - otáčky, posuv, ...*),
- pomocné (*další specifické povely pro stroj – zapnutí chlazení, ...*).

Pojem CNC (Computer Numerical Control) značí: *počítačem číslicově řízený stroj*. Tyto stroje jsou *pružné* - lze je rychle přizpůsobit jiné (obdobné) výrobě.

Schéma CNC stroje a jeho řízení

Podrobné schéma je zobrazeno na obr. 2.10. Hlavním prvkem je zde **počítač** (*s nahaným řídicím systémem*), který je z hlediska obsluhy představován obrazovkou a řídicím panelem, jež umožňuje pomocí řídicího softwaru systému vytvářet a nahrávat CNC program. Dále pak **řídicí obvody**, kde se logické signály převádějí na elektrické. **Interpolátor** řeší dráhu nástroje a výpočty korekcí, zaručuje geometrickou přesnost výrobku. **Porovnávací obvod** je zpětnou vazbou, která přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách v souřadnicových osách (stroj musí být vybaven odměřováním). Pohony posuvů zajišťují změnu polohy vlastního uložení nástroje.



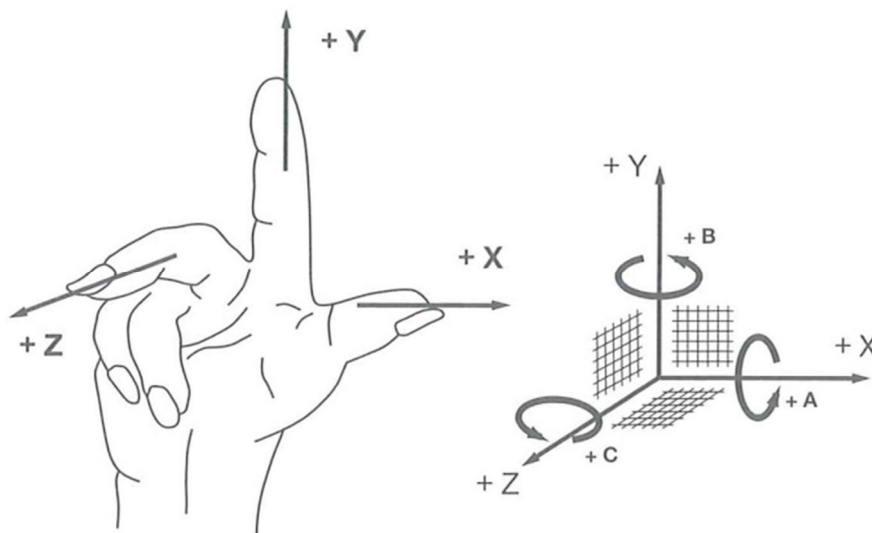
Obr. 2.10 Blokové schéma CNC obráběcího stroje [4]

Popis souřadnicového systému CNC stroje

Výrobní systém stroje používá převážně kartézský souřadnicový systém. Definice je dána normou ČSN ISO Terminologie os a pohybu [4]. Systém je pravotočivý, pravoúhlý s osami vodorovného pohybu X, Y, Z (osa Z je vždy rovnoběžná s hlavní řezným pohybem) a s nimi rovnoběžnými otáčivými osami pohybu A, B, C. Tento systém je zobrazen na obr. 2.11. Počátek souřadnicového systému programátoři nejčastěji vkládají do nejvýhodnějšího místa na obrobku, který se nazývá *nulový bod obrobku*. Stanovení tohoto bodu je ovlivněno: kótováním na výkrese, souměrností součástí, programátorskými zvyklostmi.

Řídicí systém CNC strojů používá kartézský systém v těchto případech:

- programování absolutní (*údaje vztažené k jedinému počátku souřadnic*),
- programování přírůstkové (*každý následující údaj je od předchozího bodu*),
- programování pomocí polárních souřadnic (*stanovuje se délka a úhel souřadnice*),
- parametrické programování.



Obr. 2.11 Pravidlo pravé ruky a orientace os na stroji [4]

Programování CNC stroje pomocí CAD/CAM systémů

Programování pomocí CAD/CAM systémů je automatizované, ve většině případů produktivnější a rychlejší než programování polární či parametrické obsluhou přímo na CNC stroji. Tyto systémy realizují vyšší stupeň počítačové podpory, vyžadují od uživatelů vyšší znalosti obsluhy modulu CAM a často i znalost obsluhy CAD softwaru.

Vstupní data mohou být použita ve formátu 2D i 3D. Jsou vytvořena konstruktérem v systému CAD, poté se zkopírují pro další práci do modulu CAM, který aktivně používá programátor. Výše znalostí programátora CAM zaručuje kvalitu výsledného programu.

Modul CAM pracuje v dialogu s programátorem, který odpovídá na kladené dotazy a na nabízené možnosti dle typu činnosti. Některá rozhodnutí např. volba upínacího přípravku pro upnutí obrobku, jsou poměrně složitá a závisí na mnoha faktorech, CAM modul pak přenechá volbu na programátorovi.

Nabídka v modulu CAM je směřována na následující body:

- volba strategie obrábění (*hrubování, hlazení, závitování, ...*),
- volba nástroje (*tvar, rozměry*) a k němu vztažené řezné podmínky,
- podmínky vlastního obrábění (*chlazení, poloha obrábění*),
- simulace zhotoveného programu (*kontrola kolizí nástroje-obrobku-přípravku*),
- výběr postprocesoru „překladače“ pro daný řídicí systém stroje,
- vyhotovení programu ve specifickém kódu pro daný CNC stroj.

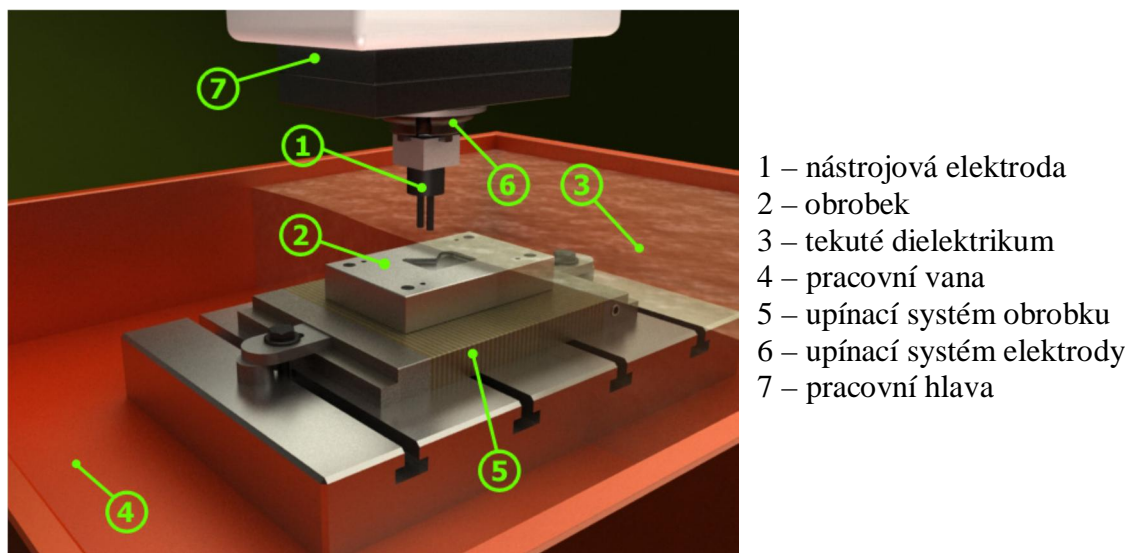
3. Poznatky z technologie elektroerozivního obrábění

3.1 Využití elektroerozivního obrábění

Elektroerozivní obrábění patří do skupiny metod obrábění využívající k úběru materiálu přímého působení elektrického proudu bez přeměny na energii mechanickou. Je to nejrozšířenější nekonvenční metoda obrábění (NMO). Charakteristickými znaky této metody je možnost obrábět všechny elektricky vodivé materiály, velikost úběru materiálu prakticky nezávisí na jeho mechanických vlastnostech, na obrobek nepůsobí žádné mechanické síly. Pro jeho označení se v mezinárodní literatuře vžíla zkratka EDM [2]. V průmyslu se využívá principů elektroeroze k různým způsobům, jako jsou např. elektroerozivní hloubení, elektroerozivní drátové řezání, elektroerozivní mikroděrování, elektrokontaktní obrábění, elektroerozivní nanášení povlaků, anodomechanické řezání.

3.2 Princip elektroerozivního hloubení

K úběru materiálu elektrickými výboji dochází mezi anodou (nejčastěji ji tvoří nástrojová elektroda) a katodou (nejčastěji ji tvoří obrobek) ponořenými do tekutého dielektrika [6]. Nejčastěji nachází uplatnění při výrobě lisovacích nástrojů, forem pro tlakové lití, nástrojů pro vstřikování plastů či kovacích zápustek. Díky této metodě lze vyrobit tvar, který je jinou metodou obrábění nerealizovatelný. Jako materiály nástrojových elektrod se nejčastěji používají grafit, měď, mosaz, apod. Přesnost elektroerozivního hloubení dosahuje 0,01 mm s drsností povrchů až $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ [6].



Obr. 3.1 Uspořádání pracovního prostoru stroje [6]

Při vzájemném přiblížení obrobku a nástroje (elektrody), na niž je přivedeno elektrické pulzní napětí, dochází k elektrickému jiskrovému výboji. Aby bylo možné výboj uskutečnit v co nejmenším prostoru a oderodované částičky materiálu se průběžně odplavovaly, je nutné, aby proces probíhal v proudící elektricky nevodivé kapalině, tzv. dielektriku. Elektrická eroze se uskutečňuje na obrobku i nástroji současně [6].

Elektrický výboj mezi nástrojem a obrobkem je podmíněn napětím, jehož výše závisí na:

- vzdálenosti mezi elektrodami,
- vodivosti dielektrické kapaliny,
- znečištění dielektrika.

Vlivem působení elektrického napětového pole mezi elektrodami se uvádějí do pohybu volné záporné a kladné ionty, zrychlují se a nabývají vysoké rychlosti. Tím se vytvoří ionizovaný (vodivý) kanál. V tomto stavu začíná mezi elektrodami protékat elektrický proud a vzniká výboj, který vyvolá řadu dalších srážek částic. Vzniklé plasmové pásmo s teplotami 3000 – 12000 °C způsobuje tavení a odpařování materiálu na obou elektrodách. Za vhodných podmínek je na jedné z elektrod (obrobku) úběr materiálu mnohonásobně větší než na druhé (nástroj). Odpařováním dielektrika vnika plynová bublina s vysokým tlakem, v okamžiku přerušení proudu vyvolá pokles teploty implozi bubliny. Do uzavřeného prostoru proniká dielektrikum a velké dynamické síly vymršťují roz-tavený materiál z kráteru. Chladícím účinkem dielektrika materiál tuhne a je jím odváděn ve formě drobných částeczek z jiskrové mezery [2]. Objem erodovaného kovu závisí na časové a energetické charakteristice výboje a na termofyzikálních vlastnostech obrobku a elektrody (tavící teplotě, tepelné vodivosti).

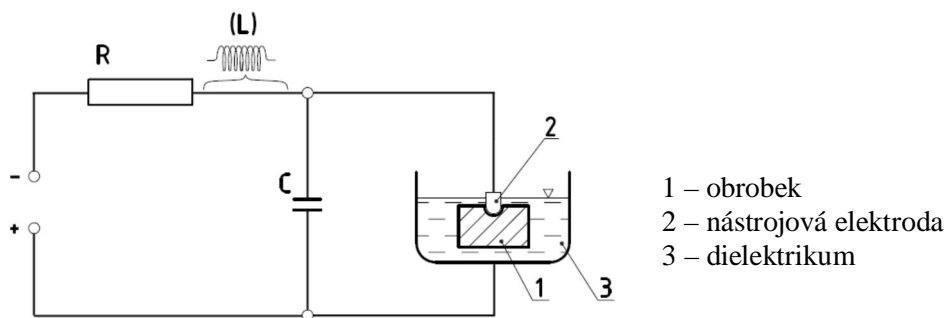
3.3 Zdroje elektrické energie (generátory)

Parametry impulzů patří k důležitým charakteristikám, které tvoří technologické ukazatele obrábění. Jednotlivé technologické aplikace (např. hrubování a obrábění načisto) využívají různých forem a parametrů elektrických výbojů. Ty jsou na nástrojovou elektrodu a obrobek přiváděny ve formě impulzů o určité frekvenci. Každý impulz je charakterizován napětím, proudem a svým tvarem [6].

Generátory se dělí na:

1) Závislé generátory (RC a RLC)

Patří k nejstarším zdrojům výbojů, principem generátoru je opakující se nabíjení a vybíjení kondenzátoru ze zdroje stejnosměrného napětí. Závislé generátory produkují velmi krátké výboje. Je vhodné zapojovat obrobek jako anodu a nástroj jako katodu (z důvodu menšího úbytku materiálu na nástroji). Nevýhodami jsou velké objemové úbytky nástroje (30% i více), omezená možnost regulace tvaru a frekvence výbojů a nízká produktivita obrábění. Úběrovost nepřesahuje 500 mm³/min¹ pro obrábění ocelí a 100 mm³/min¹ pro obrábění SK. Zapojením indukčnosti (L) v nabíjecím obvodu (zapojení RLC) dle obrázku (Obr 3.2) se dosáhne ustálení nabíjecího proudu a tím zkrácení doby nabíjení (vzrůst frekvence a výkonu). Úběrovost při obrábění oceli pak dosahuje hodnoty až 2000 mm³/min¹ [6].

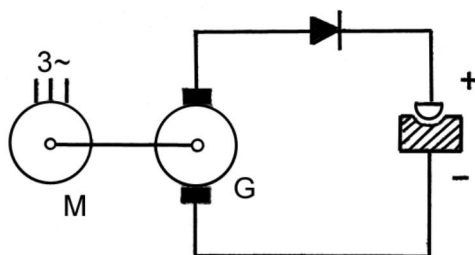


Obr. 3.2 Schéma el. obvodu s RC/RLC prvky [6]

2) Nezávislé (pulzní) generátory

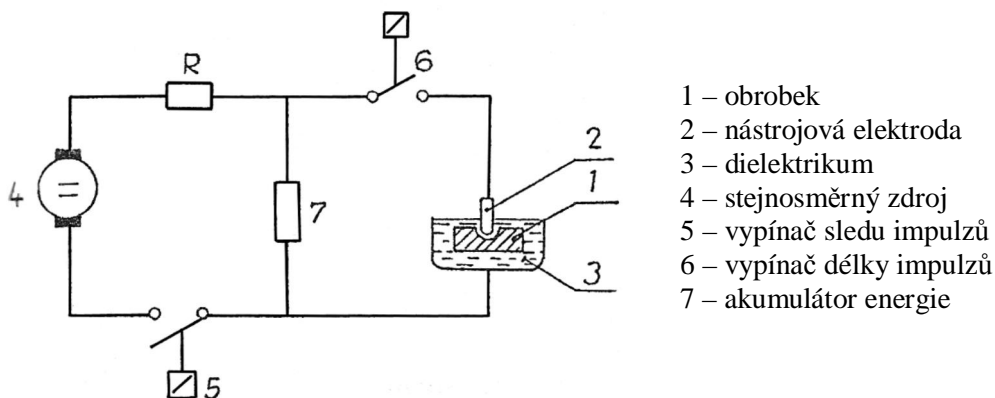
Umožňují nastavovat pracovní podmínky eroze bez ohledu na poměry v pracovní mezeře. Existují dva typy nezávislých generátorů:

- a) **rotační** – impulsy vznikají roztáčením dynama asynchronním motorem, mají stálou frekvenci (např. 400 Hz), umožňují vysokou úběrovost až 5000 mm³/min¹. Nevýhodami jsou vysoká hluchost a obtížná regulace pulsů [6].



Obr. 3.3 Schéma rotačního pulzního generátoru [6]

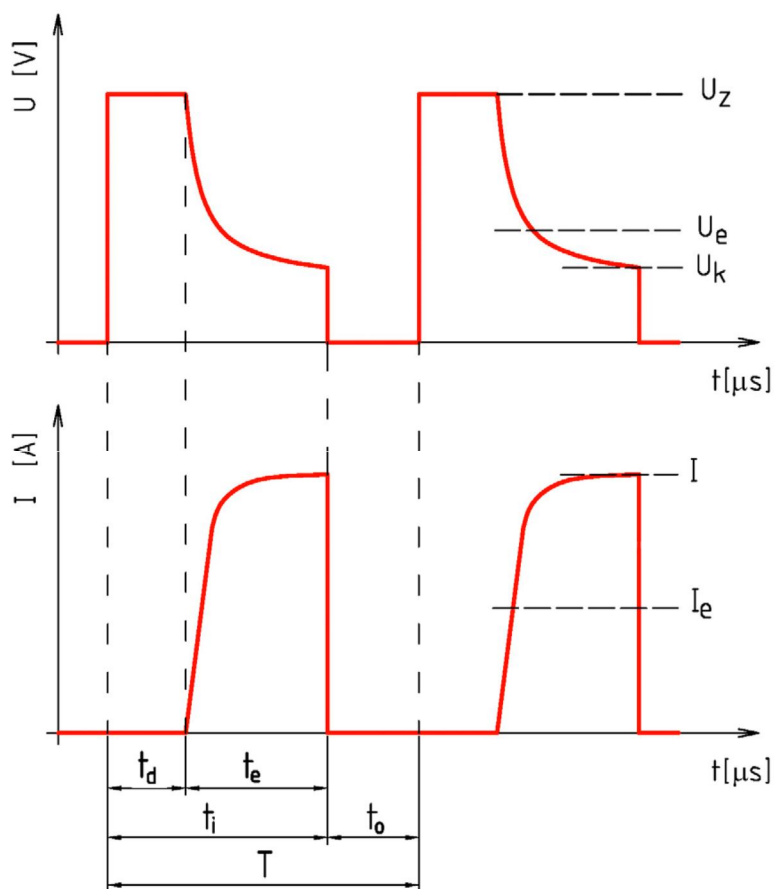
- b) **polovodičové** – předností je možnost nastavení elektrických parametrů ve značném rozsahu (např. frekvenci od 0,5 Hz až po 50 kHz). Dobu trvání impulsu t_i a dobu pauzy t_o vytváří multivibrátor. Při výbojích nevzniká negativní půlplna a je dosahován malý relativní objemový úbytek nástroje (cca 1%). V současnosti se převážně používají polovodičové (impulzní) generátory řízené CNC řídicími systémy. Dosahovaný úběr bývá až 7000 mm³/min¹, u velkých zařízení až 25 000 mm³/min¹ [6].



Obr. 3.4 Schéma polovodičového pulzního generátoru [6]

3.4 Časový průběh výboje

Uvedený časový průběh výboje se týká polovodičového generátoru, který je dnes nejvíce používán.



Obr. 3.5 Proudová a napěťová charakteristika polovodičového generátoru [6]

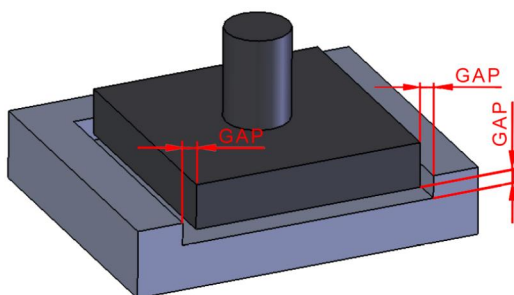
- t_i doba impulzu (časový úsek mezi zapojením a vypojením generátoru, platí zde vztah $t_i = t_d + t_e$)
- t_o prodleva (okamžik mezi dvěma napěťovými pulzy)
- t_d zpoždění výboje (čas, který uplyne mezi zapnutím napěťového pulzu a průrazem výbojové dráhy)
- t_e doba trvání výboje (časový úsek, po který výbojovou dráhou prochází proud, touto hodnotou lze ovlivnit opotřebení elektrod)
- T doba periody ($T = t_i + t_o$)
- U_Z napětí na prázdko (zápalné napětí výboje, tímto napětím lze ovlivňovat šířku pracovní mezery)
- I pracovní proud výboje (směrodatný parametr, který rozhoduje o úběru a drsnosti povrchu)
- I_e střední vybíjecí proud
- U_e střední vybíjecí napětí
- U_k napětí při zhasnutí výboje

S ohledem na značný význam časového průběhu výboje na intenzitu úběru materiálu a kvalitu obráběné plochy a pro možnost systematického rozdělení výbojů, je vhodné zavést veličinu tzv. časového využití periody výboje q ($0 - 1$), jak je zřejmé z následujícího vztahu [5].

$$q = \frac{t_i}{T} = \frac{t_i}{t_i + t_0}$$

3.5 Regulace přísuvu nástrojových elektrod

Nedílnou součástí každého elektroerozivního stroje je servomechanismus, který umožňuje regulaci nástrojové elektrody a nastavení pracovní mezery **GAP**. Servomechanismus má také za úkol nastavení optimální vzdálenosti mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem, která je nutná pro vytvoření výboje a tím zajišťovat plynulost a rovnoměrnost erozivního úběru. Hlavními faktory jsou pracovní podmínky (U_z , t_i , t_0), dielektrikum a materiál elektrod [6].



Obr. 3.6 Jiskrová mezera „GAP“ [6]

Rozměrové rozdíly nástrojových elektrod při hrubování a dokončování

Tvar elektrody je negativem výsledného tvaru obrobku. Určujícím parametrem výsledné rozměrové přesnosti obrobku je hodnota jiskrové mezery **M**. Nástrojové elektrody se vyrábí menší o hodnotu **M**.

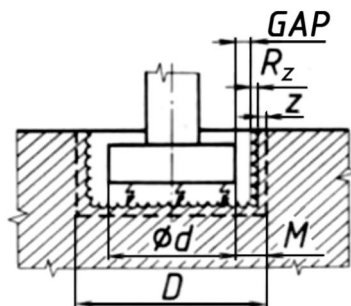
U hrubovací elektrody je hodnota **M** složena z pracovní mezery **GAP**, hodnoty **R_z** (nejvyšší výška nerovnosti profilu) a přídavku **z** [6]. U elektrody dokončovací je hodnota **M** shodná s pracovní mezerou **GAP**.

Parametr jiskrové mezery pro hrubovací elektrodu

$$M = GAP + R_z + z$$

Parametr jiskrové mezery pro dokončovací elektrodu

$$M = GAP$$

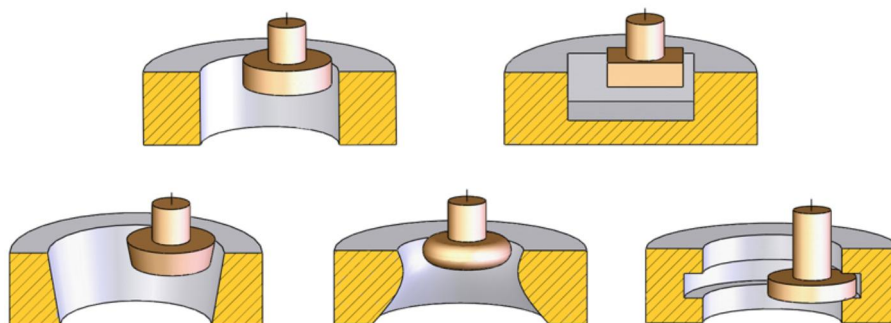


Obr. 3.7 Parametry jiskrové mezery při hrubování [6]

Pohyb nástrojových elektrod

Materiál můžeme obrábět klasickým „přenášením“ tvaru nástrojové elektrody, kdy se obrobená část jeví jako negativ samotné elektrody. Pohyb nástroje při obrábění vykonává svislá osa (Z).

Další metodou obrábění je využití planetového pohybu nástroje (obr. 3.8). V procesu tohoto obrábění se současně využívají až 4 osy (X, Y, Z, C). Při obrábění i složitějších dutin se využívá základních tvarů elektrod s kruhovým, čtvercovým či obdélníkovým průřezem. Výhodou tohoto způsobu obrábění je zlepšení odvodu nečistot z místa výboje a tím i zkvalitnění a zpřesnění obrobeného povrchu. U planetového obrábění se také snižuje spotřeba elektrod a výsledné strojní časy se zkracují o (40 až 60) % [6]. Úbytek elektrody lze při vhodném pracovním režimu kompenzovat velikostí výchylky translace.



Obr. 3.8 Příklady planetových pohybů nástrojových elektrod [6]

3.6 Pracovní prostředí (dielektrikum)

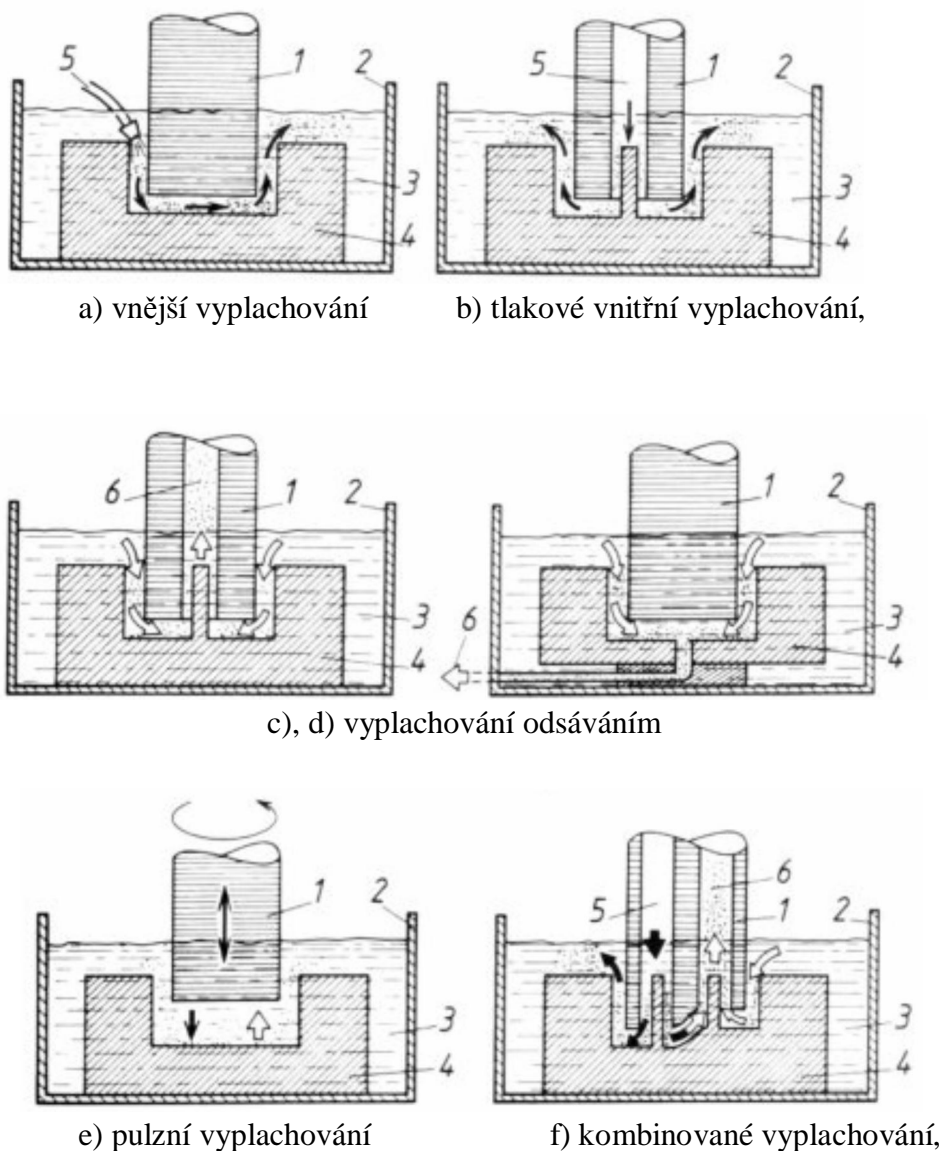
Pracovní prostředí působí jako izolátor mezi elektrodami, odvádí teplo z pracovní mezery, ohraničuje výbojový kanál, odvádí nečistoty z míst výbojů a zabraňuje vylučování uhlíku a mikročástic materiálu na povrchu nástrojové elektrody a tím zabraňuje vzniku zkratů [2].

Požadavky na dielektrické kapaliny:

- dielektrické vlastnosti (odpor) umožňují vznik výboje průrazem dielektrika,
- dobrá smáčivost, malá viskozita (*zajišťující rychlé obnovení izolace v místě výboje*),
- bod vzplanutí vyšší než 60 °C,
- ekologická a hygienická nezávadnost,
- nízká pořizovací cena.

Nejčastěji používanými kapalinami jsou lehké strojní oleje, petroleje, destilovaná a deionizovaná voda. Součástí elektroerozivního stroje je zásobník dielektrické kapaliny, čerpadlo, potrubí, filtrační zařízení a chladicí zařízení. Je velmi důležité, aby dielektrikum nebylo příliš znečištěné. Proto se používají filtry různých konstrukcí (papírové filtry, usa-

zovací filtry nebo odstředivá filtrační zařízení). Důležité je také správné vyplachování pracovní mezery, to může být prováděno několika způsoby, viz obr. 3.9 (a až f).



Obr. 3.9 Příklady přívodů dielektrika do pracovní mezery (a až f) [6]

Legenda k obr. 3.9

1 – nástrojová elektroda, 2 – pracovní vana, 3 – dielektrikum, 4 – obrobek, 5 – přívod dielektrika, 6 – odsávání dielektrika[6]

3.7 Materiály nástrojových elektrod

Jak již bylo zmíněno dříve, opotřebení se děje jak na obrobku, tak na nástroji. Pracovní podmínky jsou voleny tak, aby zajistily minimální opotřebení na nástrojové elektrodě při požadované produktivitě a drsnosti obrobené plochy. Pro snazší optimalizaci

volby materiálu nástrojové elektrody byla zavedena poměrná veličina nazvaná relativní objemové opotřebení δ [%].

$$\delta = \frac{V_n}{V_0} \cdot 100\% = \frac{\text{objemový úbytek nástroje}}{\text{objemový úbytek obrobku}} \cdot 100\%$$

Míra eroze (opotřebení) na nástroji a obrobku je asymetrická a závisí zejména na:

- polaritě obou elektrod,
- tepelné vodivosti,
- teplotě tavení materiálu nástroje i obrobku,
- konstrukci generátoru,
- volbě dielektrika,
- intenzitě výbojů,
- dobou trvání impulsu.

Jelikož samotná výroba elektrody může dosáhnout až 50% celkových nákladů na výrobu součásti elektroerozí, je nutné věnovat volbě materiálu elektrody prvořadou pozornost [5]. Mezi nejrozšířenější materiály pro elektrody patří: měď, grafit, wolfram, mosaz, Al slitiny. Parametry vybraných materiálů naleznete v tab. 3.1.

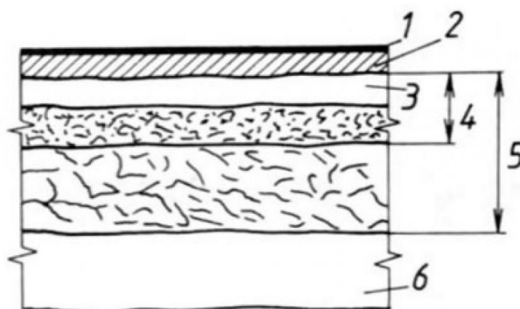
materiál	Hustota [g/cm ³]	Tvrdost [HV]	Tepelná vodivost [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Elektrický odpor [nΩ·m]	Teplota tavení [°C]	Cena [Kč/dm ⁻³]
Grafit	1,6 ÷ 2,1	80 ÷ 150	55 ÷ 100	2·10 ³ ÷ 2·10 ⁴	3200	1000 ÷ 5000
Měď	8,96	370	386	16,8	1085	3000
Wolfram	19,25	3430	173	52,8	3422	

Tab. 3.1 Parametry materiálů. Pozn.: Rozmezí hodnot u grafitu je dáno jeho různou pórovitostí a velikostí zrn [6]

Nejčastěji používaným materiálem v elektrojiskrovém obrábění je grafit. Mezi jeho výhody patří snadná obrobitelnost, dobré charakteristiky opotřebení a je málo citlivý na tepelné výkyvy. Díky své hmotnosti lze použít pro velmi rozměrné elektrody. Nevýhodou je jeho malá pevnost a vysoká prašnost při výrobě. Zvolenou technologií a postupem výroby grafitového polotovaru lze dosáhnout různých vlastností grafitu, které pak ovlivňují oblast použití. Obecně platí, že čím je zrno grafitu menší, tím jemnější detaily lze na elektrodě resp. obrobku vyhotovit.

Dalším důležitým parametrem je výsledná drsnost povrchu obráběné součásti, ta úzce souvisí s energií jednotlivých výbojů. Obecně se dá konstatovat, že nejlepší kvality povrchu se dosahuje při nižších hodnotách proudu, krátkých impulzech a vysokých frekvencí výbojů. Kvalitní povrch sebou nese zvýšené opotřebení nástrojové elektrody a

s rostoucí energií i odlišnou strukturu povrchové vrstvy. Studium obrobků byly zjištěny změny povrchových vrstev, jejichž rozložení je zachyceno na obr. 3.10 [6].



Obr. 3.10 Složení povrchu opracované vrstvy [6]

Legenda k obr. 3.10

- 1- mikrovrstva nasycená částicemi dielektrika a chemické sloučeniny vytvořené difuzí,
- 2- vrstva obsahující materiál nástrojové elektrody (v případě zapojení nástroje na záporný pól),
- 3- tzv. bílá vrstva, znovu ztuhlá tavenina, jemná struktura charakteru martenzitu
- 4- pásmo termického ovlivnění, přesahující rozměrem bílou vrstvu, vykazující v oblasti 3 a 4 svojí strukturou zakalený a popuštěný výchozí materiál,
- 5- pásmo plastické deformace vyvolané tlakovými rázy impulzů,
- 6- základní materiál.

4. Rozbor stávajícího postupu výroby kovací zápustky pro klikovou hřídel

4.1 Struktura závodu na výrobu nářadí

Závod na výrobu nářadí VN se zabývá konstrukcí, technologickou přípravou, výrobou a servisem nářadí pro výrobu automobilů. Cílem procesu je zajištění hospodárné a ekologicky šetrné výroby nářadí v požadované kvalitě a termínech pro interní zákazníky v rámci ŠKODA Auto a.s. i externí firmy koncernu VW. Závod VN se dělí do 5 skupin názvy a organizační struktura je znázorněna na obr. 4.0. V oddělení VSN3, které se zabývá výrobou metalurgického nářadí, působím již od roku 2004. Ve spolupráci s tímto oddělením pracuji na tématu této bakalářské práce. Organizační struktura VSN3 je znázorněna v tab. 4.0.



Obr.: 4.0 Organizační struktura VSN

VSN3 Ing. T. Němeček MBA			
VSN 3/1 Výroba metalurgického nářadí Vladislav Šolc		VSN 3/2 Technologie výroby metalurgického nářadí Ing. P. Svoboda	
VSN 3/3 Konstrukce metalurgického nářadí Ing. A. Kovář			
VSN 3/11	tepelné a chemicko-tepelné zpracování	VSN 3/21	Tvorba výrkon. norem
VSN 3/12	strojní výroba	VSN 3/22	Tvorba prac. postupů
VSN 3/13	ruční výroba	VSN 3/23	Tvorba obráb. programů
		VSN 3/31	konstrukce metalurgického nářadí
		VSN 3/32	konstrukce tlakového lití
		VSN 3/33	konstrukce kovárenského nářadí

Tab. 4.0 Zjednodušená organizační struktura VSN3

Důležitou součástí oddělení VSN3 je samotná výroba, kde se fyzicky zhotovuje, kontroluje, tepelně upravuje vyráběné nářadí za pomoci výrobních strojů či ruční prací. Výroba je rozdělena na úseky konvenčního třískového obrábění (CNC frézky, CNC soustruhy a klasické frézky a soustruhy), úsek strojů pro erozivní obrábění a řezání, ruční pracoviště, úsek přípravy a výroby elektrod pro elektroerozivní obrábění, oddělení přípravy nástrojů na CNC stroje, sklad s výdejnou specifického strojního nářadí a měřicí kontrolní stanoviště. Dalším článkem výrobního řetězce jsou mistři, kteří se starají o plynulý a správný chod

dílny, jejich úkolem je komunikace mezi výrobní a technologickou částí provozu. Techničtí pracovníci jsou rozděleni na programátory, kteří zhotovují 3D a 2D programy na CNC stroje, technology zabývající se tvorbou výrobních postupů, konstruktéry, jež zhotovují potřebná 3D data a výkresovou dokumentaci metalurgického nářadí a zkušební techniky zajišťující zkoušky nástrojů u zákazníka.

4.2 Výroba metalurgického nářadí


Útvar se zabývá konstrukcí a výrobou tlakových licích forem pro odlitky z hliníkových slitin. Konstrukcí a výrobou kovacích zápustek, lisovacího a speciálního nářadí.

Konstrukce dle požadavků zákazníka (kovárny – hutí) pod vedením koordinátora konstrukce metalurgického nářadí zkonstruuje 3D model kompletního nástroje v jednom ze zde používaných CAD softwarů – (CATIA, PRO ENGINEER...). Dle zavedených standardů pak zhotoví k 3D modelu výkresovou dokumentaci používanou k výrobě jednotlivých pozic nástrojů vč. potřebného kusovníku s uvedením jakosti materiálů.

Technologie zpracovává technologický postup (dále TP), který je výrobním postupem pro výrobu daného dílu. TP je členěn na jednotlivé technologické operace na základě technické dokumentace. TP stanovuje popis jednotlivých operací, pracoviště a výrobní zařízení, na kterých budou operace prováděny, předepisuje nutnost vypracování NC programů, případně výrobní nástroje. Dále obsahuje k jednotlivým operacím normy spotřeby času stanovené normovačem. Součástí TP jsou rozhodující kontrolní operace. Vykonáním kontrolní operace v procesu výroby dochází k monitorování a měření kvality výrobku a je tím zároveň stanoven dozor nad příslušnými parametry procesu. Přílohou TP je výkresová dokumentace a pokud je použit NC program tak i potřebné dokumenty týkající se použitých programů vytvořených programátorem.

Specialista technologického procesu CAD/CAM obdrží od technologa zpracovávajícího TP požadavek na tvorbu NC programu. Specialista poté koordinuje a rozděluje 3D data pro tvorbu potřebných programů jednotlivým programátorům. Programátor tato data vytvořená konstrukcí nahraje pomocí podnikové sítě do CAD/CAM softwaru (CATIA, WorkNC) na své počítačové stanici. Podle údajů v TP, který má k dispozici, zhotoví v softwaru 3D polotovár potřebný pro simulaci kolizí. Stanoví postup obrábění, jednotlivé nástroje a jejich pracovní podmínky (v_c , v_f , f_z , a_p , a_e , z , ...). Všechny tyto parametry se stanovují podle interních zvyklostí, zkušeností daného programátora a dostupných interních katalogů nástrojů. Poté co programátor, po konečné kontrole případných kolizí v procesu obrábění, vygeneruje pomocí CAM softwaru apt data odpovídající příslušným programům, převede pomocí postprocesoru tento apt formát do NC dat řízení konkrétního CNC stroje. Takto zhotovený program pomocí podnikové sítě nahraje na příslušný CNC stroj a současně zálohuje na archivačním disku. Obráběcí program je na jednotlivé CNC stroje distribuován společně s Programovými listy (obr.4.1). Programové listy obsahující soupis všech programů na danou operaci, způsobu upnutí dané součásti a zobrazení drah nástroje. Součástí programových listů, které zpracoval programátor, je Nástrojový list, který je souhrnem technických údajů použitých nástrojů. Oddělení přípravy nástrojů pak podle Nástrojového listu vychystává po-

třebné nástroje na jednotlivé CNC stroje. V nářaďovně ŠKODA Auto a.s. se používají nástroje a nástrojové držáky od různých světových i domácích firem jako je FETTE, PRAMET, ISCAR či SECO. Nářaďovna ŠKODA Auto a.s. má také provoz na výrobu řezných nástrojů za slinutých karbidů. Některé nástroje, převážně menších průměrů (3÷20 mm), jsou tedy od tohoto interního dodavatele.



ŠKODA

Auto

VSN3 - NC programování

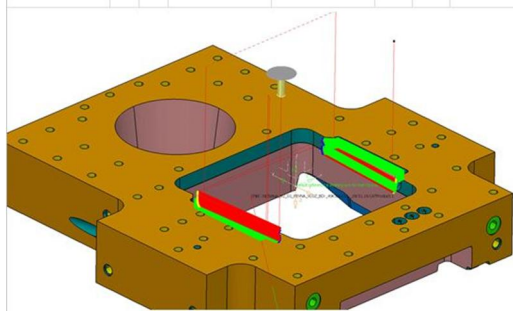
Programátor	Martin Maly			Telefon				Datum	06.04.2009 11:47:24			
Název	PEVNA VLOZKA						Pozice	2.1				
Číslo výkresu	31-49K300113_P2.1		Číslo dílu			Schválil	Lepšík					
Čas [min]	373		Materiál	1,2345		Zpracování						
Directory \\smb1:								Stroj	Deckel Maho 125			
Pozice v zakázce:												
Poznámka:		delicka +0.2mm_zamky +0mm										
SEZNAM NÁŘADÍ												
Program	Nástroj	Popis nástroje	Číslo nástroje	Hlava	Průměr	Rádus	Řezná délka	Využ. délka	Celková délka	úhel	Korekce	Poznámky
1_upnutí												
MMP1035	1	T1 Pramet D50 R0.5 L50			50	0,50	20	40	50			
MMP1036	3	T3 Tvrdokov D16 R2 L50			16	2,00	25	50	51			
MMP1037	4	T4 Tvrdokov D6 R3 L30			6	3,00	25	30	31		špička	tepelko krátké
2_upnutí												
MMP1038	5	T5 Pramet D63 R2 L40			63	2,00	10	40	50			
MMP1039	5	T5 Pramet D63 R2 L40			63	2,00	10	40	50			
MMP1040	6	T6 Pramet D52 R8 L160			52	8,00	8	150	155			
MMP1041	7	T7 Walorbe D50 R0 L130			50	0,00	125	125	130			!!! PGM s korekcí !!!

a)

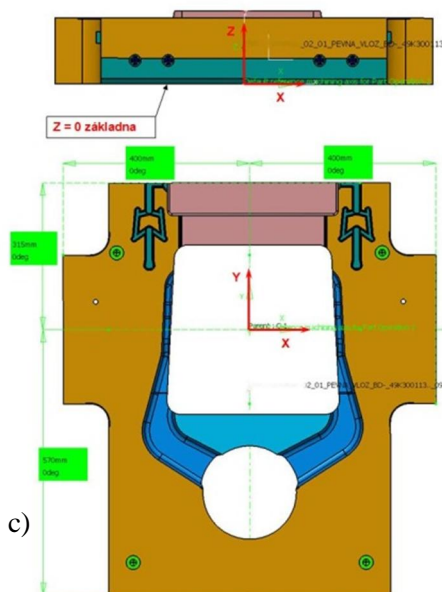
a)

ACOVNÍ POSTUP/HEI/FID/SINU/MAHO VSN3 NÁŘAĎOVNA ŠKODA AUTO a.s. MLBole			
Číslo výkresu	31-49K300113_P2.1	Pořadí programu	2
Číslo operace		Data	
Popis práce	Hrubování +0,5	Poznámka	
Programátor	Martin Maly		
Název programu	MMP1036		
Nástroj	T3 D=16 r=2 T3 Tvrdokov D16 R2 L50		
Počet zubů	4	Urychovací hlavička	
Otáčky [1/min]	3300	Posuv [mm/min]	1100
Vc [m/min]	165,88	fn [mm/ot]	0,083
Hloubka záběru ap	0,2	Velikost scallop	0,003
Cyklus	uring 1:Profile Contouring	Tolerance	0,01
Kopirovací krok ae	12	Způsob obrábění	sousledně
Přídavek	0,5	Poznámka: Tepelko	
Jiné zadání (čas) [min]	100,39	POUŽITO	
Počet řádek N		SW CATIA V5R19 SP3	

b)



2_upnutí



c)

Obr. 4.1 Příklad Programových listů a jejich základní části: a) Nástrojový list, b) Programový list, c) Ustavovací list

4.3 Kovací zápustka na klikovou hřídel

Objemové tváření kovu při kovací teplotě v dutině zápustky, která má tvar vyráběného výkovku (klikové hřídele) nebo předkovku s přídávky, se nazývá zápustkové kování. Zahřátý polotovár je vkládán do dutiny spodní části zápustky klikové hřídele obr. 4.2 a tváří se údery svislého kovacího lisu LZK 3150 – B prostřednictvím horní pohyblivé části zápustky klikové hřídele. Výrobu výkovku lze rozdělit do tří kroků. V prvním kroku se zahřátý polotovár válcového průřezu předkove předkovací zápustkou, druhým krokem je dokončování zápustkou dokončovací a poslední krok odstřihne výronek na hotovém výkovku. Kovárna tak zajišťuje výrobu výkovků klikového hřídele pro motory 2,0l, 1,2l a 1,4l TSi pro odběratele z VW. Dále pak polotovary ozubených kol pro převodovku MQ100, MQ200 a DQ 200, vyvažovací kola motoru 1,2l HTP, vačkového hřídele 1,9l TDi a ramen tažných závěsů a další díly. Používá tak technologii zápustkového kování za tepla na svislých kovacích lisech.

Pro výrobu polotovarů hřídelů převodovek využívá kovárna ŠKODA Auto a.s. technologii příčného klínového válcování na tvářecích strojích Šmeral (obr. 4.4).



Obr. 4.2 Detail předkovací a dokončovací spodní zápustky se zahřátým polotovarem na svislém kovacím lisu LZK 3150 – B firmy Šmeral a.s. ve firmě ŠKODA Auto a.s.



Obr. 4.3 Hotový výkovek klikové hřídele

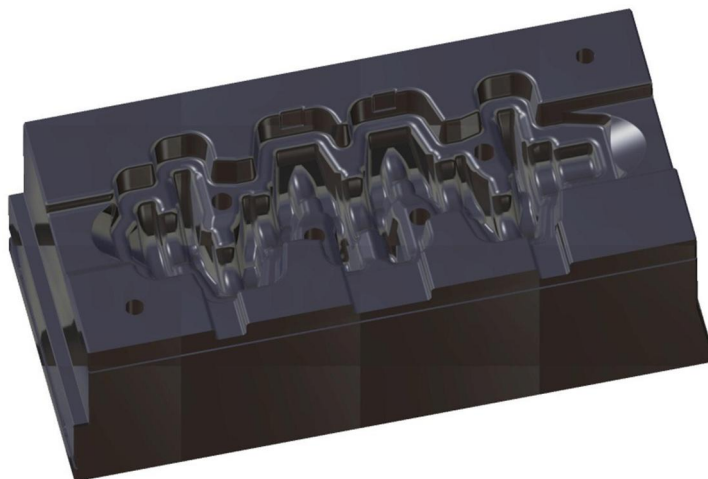


Obr. 4.4 Svislý kovací lis LZK 3150 – B firmy Šmeral a.s.

4.4 Rozbor stávajícího postupu výroby

Na začátku každého kalendářního roku proběhne plánovací kolo závodu na výrobu nářadí a přípravků. Jako zákazník zde vystupují hutě, které předloží požadavek na objem výroby nového či oprav stávajícího nářadí. Během následujícího celoročního provozu probíhají konzultace o dílčích termínech a kvalitě dodávaného nářadí.

Kovacích zápustek na klikovou hřídel se zde vyrábí několik druhů. Rozbor postupu je proveden na zápustku klikové hřídele s označením 5-10-3534-1_P1, která je součástí motoru 2,0 l TDi. Jedná se o předkovací zápustku, na které se vyskytují nejhůře dostupná místa. V průběhu roku se tyto zápustky buď vyrábějí jako nové z plných polotovarů - tvaru kvádrů, nebo se zde snižují použité již odkované zápustky. Zápustka za svoji životnost odkove 4000 výkovků, než je nutné ji snížit (renovovat). Zpravidla se zápustka sníží 5x a to po každé o 10 mm. Zvolená analýza stávajícího postupu je na výrobu nové předkovací zápustky **5-10-3534-1_P1**, která je zobrazená na obr. 4.5.



Obr. 4.5 Spodek předkovací zápustky na klikovou hřídel

Zkrácený orientační postup výroby:

- 1) Dodání vyžíhaného a ofrézovaného bloku z nástrojové oceli 19 552
- 2) Na CNC frézovacím stroji s označením FSQ100 se zhotoví síla, šíře a délka s přídávkem pro brus. Hotově se zhotoví úkos a vybrání na délce. Vyhrubují se otvory pro vyhazovače, 4x manipulační otvory, 4x M16 ze základny a vyfrézují vzorky pro technickou kontrolu struktury materiálu.
- 3) Takto ofrézovaný kus přebírá nástrojař. Ten srazí ostré hrany, označí vyražením materiál a čísla výkresu. Vyrazí na vzorcích č.1. a č.2. Vzorek č.1 ulomí a předá na technickou kontrolu materiálu.
- 4) Dále jde součást do kalírny, kde se tepelně zušlechťí, zakalí a popustí na $49 \pm 2 \text{HRC}$. Součást se dále pískuje a ulomí se vzorek č.2., který se těž předá na TK.
- 5) Následuje přerovnání základny hotově, čistě na rovinném bruse Favreto 160. Celý kus se úhluje k ploše "A" (viz orientační výkres v příloze č. 1).

- 6) Na horizontálním vrtacím stroji (horizontální vyvrtávačka WH 100) se vyvrtají 4x na čisto otvory pro vyhazovače a zarovná se délka s ohledem na plochu “B” (viz orientační výkres v příloze č. 1).
- 7) Hrubování tvaru na CNC stroji FSQ 100 s přídavkem 0.1mm na plochu.
- 8) Kalibrování tvaru na CNC frézce Tajmac na čisto.
- 9) Kontrola tvaru a předešlých operací na kontrolním měřícím stanovišti dle 3D dat.
- 10) Začištění tvaru leštěním na ručním pracovišti, sražení ostrých hran, označení součásti odpovídajícím číslem výroby a pročištění závitů.

Červeně jsou označeny operace, které jsou z hlediska diplomové práce podstatné. Jsou to dokončovací operace na CNC stroji a ruční leštění tvaru. Podrobně rozebrána bude v další části bakalářské práce kalibrovací operace tvaru na CNC stroji. V části experimentu bude na tuto 8. operaci odzkoušena metoda elektroerozivního hloubení.

4.5 Analýza kalibrovací operace na CNC frézce

Předtím než obsluha stroje započne samotnou práci na kovací zápustce, vyjme z připravených programových podkladů nástrojový list a odnese ho k přípravářům nářadí. Přípraváři nářadí pak podle předloženého nástrojového listu vychystají nástroje obsluze. Poté kovací zápustku, kterou dopravila logistika na vychystávací plochu u CNC strojů značky Tajmac (obr. 4.6), přemístí obsluha pomocí jeřábu na frézovací stůl ve stroji. Pomocí upínek a šroubů upne zápustku ke stolu (obr. 4.7). Najížděcí sondou nadefinuje polohu kusu ve stroji a data uloží do softwarové tabulky CNC stroje. Připravené nářadí, které obdrží od přípravářů, pak založí do stroje na předem stanovené pozice v zásobníku nástrojů.



Obr. 4.6 Stroj Tajmac – MCFV1680



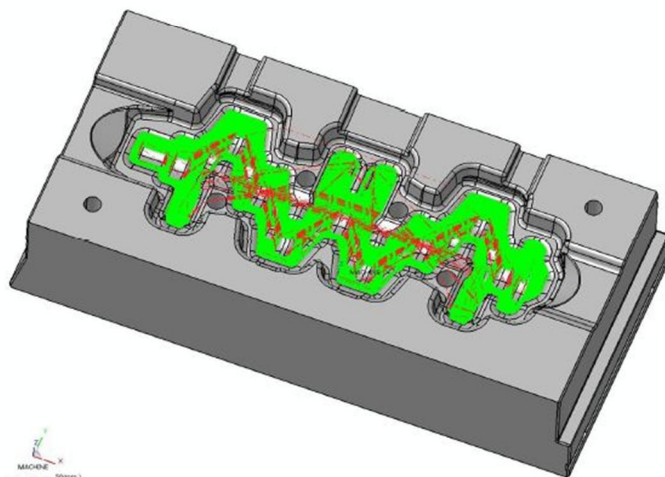
Obr. 4.7 Detail upnutí kovací zápustky ve stroji Tajmac

Následující programové listy byly vypracovány programátorem CAD/CAM na základě jím zhotovených programů pro obrábění tvaru kovací zápustky na čisto (kalibrování). Programy jsou podrobně rozepsány na dvě fáze. Celkový výrobní čas klikové zápustky vygenerovaný CAM softwarem činí 429,31 minut. Tento čas je však nutno brát jako teoretický. Dalším důležitým parametrem je zvolený kopírovací krok 0,2 mm nástroje, který nemůže být větší s ohledem na výsledné drsnosti obrobeného povrchu.

Fáze 1 – frézování svislých ploch tvaru na čisto (obr. 4.8)

Nástrojem je fréza „kopírovací“ čelní válcová průměru 8 mm se zaoblením čela 4mm vyložená 65 mm. Upnuta do tepelného upínače HSK 100 A. Počet otáček 5000 ot/min,

PRACOVNÍ POSTUP/HEI/FID/SINU/MAHO		VSN3	NÁŘAĎOVNA ŠKODA AUTO a.s. Ml.Boleslav
Číslo výkresu	5-10-3534-1_P1	Pořadí programu	1
Číslo operace		Data	
Popis práce	kalibrace tvaru	Poznámka	
Programátor	Malý	Vyklonění	Ne
Název programu		JKPA1267	
Nástroj		T3 Tvrdokov D8 R4 L65	
Počet zubů	2	Urychovací hlavička	ne
Otáčky [1/min]	5000	Posuv [mm/min]	1300
Vc [m/min]	126,00	fn [mm/ot]	0,260
Hloubka záběru ap	0,2	Velikost scallop	0,003
Cyklius	z-level	Tolerance	0,02
Kopírovací krok ae	0,2	Způsob obrábění	sousledně
Přidavek	0	Poznámka: DRŽÁK	
Jiné zadání (čas) [min]	308,31	POUZDRO	
Počet řádek N		SW CATIA V5R16 SP3	



posuv 1300 mm/min, kopírovací krok 0,2 mm. Způsob obrábění sousledné. Při obrábění nutno zapnout chlazení řeznou kapalinou pro lepší odvod třísek a tepla z místa řezu. Program spočítal předběžný čas obrábění na 308 minut.

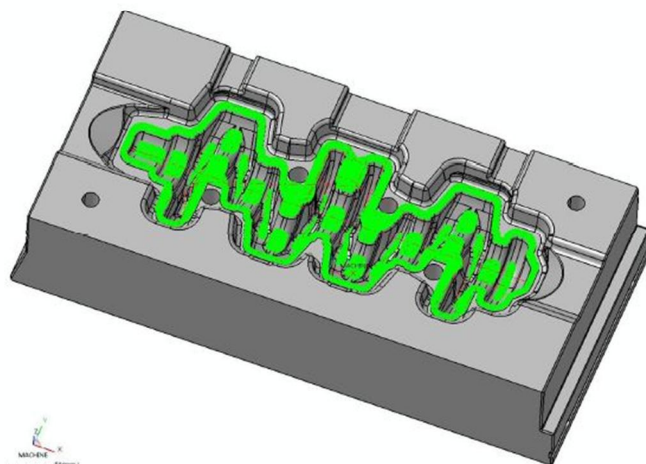
Obr. 4.8 Programový list kalibrace tvaru svislých ploch

Fáze 2 – frézování horizontálních ploch tvaru na čisto (obr. 4.9)

Nástrojem je fréza „kopírovací“ čelní válcová průměru 8 mm se zaoblením čela 4mm vyložená 65 mm. Upnuta do tepelného upínače HSK 100 A. Počet otáček 5000 ot/min, posuv 1300 mm/min, kopírovací krok 0,2 mm. Způsob obrábění sousledně. Při obrábění

nutno zapnout chlazení řeznou kapalinou pro lepší odvod třísek a tepla z místa řezu. Program spočítal předběžný čas obrábění na 121 minut.

PRACOVNÍ POSTUP/HEI/FID/SINU/MAHO		VSN3	NÁŘAĐOVNA ŠKODA AUTO a.s. Ml.Boleslav
Číslo výkresu	5-10-3534-1_P1	Pořadí programu	2
Číslo operace		Data	
Popis práce	kalibrace tvaru	Poznámka	
Programátor	Malý	Vykonání	Ne
Název programu		JKPA1268	
Nástroj		T3 Tvrdokov D8 R4 L65	
Počet zubů	2	Urychovací hlavička	ne
Otáčky [1/min]	5000	Posuv [mm/min]	1300
Vc [m/min]	126,00	fn [mm/ot]	0,260
Hloubka záběru ap	0,2	Velikost scallop	0,003
Cyklus	sweeping	Tolerance	0,02
Kopírovací krok ae	0,2	Způsob obrábění	sousledně
Přídavek	0	Poznámka: DRŽAK	
Jiné zadání (čas) [min]	121,00	POUŽDRO	
Počet řádek N		SW CATIA V5R16 SP3	



Obr. 4.9 Programový list kalibrace tvaru horizontálních ploch

Po odsledování samotné výroby zápustky na CNC stroji, za pomoci časového počítadla na řídicím panelu stroje, byly výsledné výrobní časy kalibrace pro 1. fázi 394 minut a pro fázi 2. 148 minut. Celková doba výroby klikové zápustky tedy byla 543 min. Rozdíl mezi teoretickým a reálným časem byl způsoben zpomalováním lineárních os stroje při prudké změně směru pohybu a velkým počtem nepracovních přejezdů uskutečněných rychloposuvem. Po dokončení každé z uvedených fází, byl použitý frézovací nástroj otupen. Na kalibraci klikové zápustky je proto nutné použít dva nástroje.

4.6 Dohotovení tvaru leštěním

Leštění tvaru součásti klikové zápustky je poslední operací a je na ní vyhrazena doba 985 minut. Nástrojář ruční bruskou zabrousí nerovnosti povrchu, srazí ostré hrany, vyleští kritické hluboké partie tvaru a pročistí závit.

5. Návrh technologie výroby zápustky s elektroerozivním obráběním

5.1 Podstata změny technologie

Pro hrubování kovací zápustky se používají frézy s VBD dodávané firmou Fette – Kieninnger, které dosahují velmi dobrých hodnot odebraného objemu materiálu za čas při frézování kaleného materiálu.

Pokud by se provedla operace hrubování před kalením, musela by být s přídatkem 1mm na plochu. To z důvodů deformace materiálu. Po kalení by následovala operace dohrubování tvaru na CNC frézce s přídatkem 0,1mm na plochu. Toto řešení, by značně prodražilo a zkomplikovalo výrobu. Navrhovaný postup proto ponechává sled operací výroby kovací zápustky stejný až do kalibrovací operace klikové hřídele.

Operace kalibrování tvaru na CNC frézce bude nahrazena nekonvenční obráběcí metodou na elektroerozivním hloubícím stroji. K tomuto způsobu výroby je potřeba zhotovit tvarovou elektrodu. Výroba tvarové elektrody třískovou metodou bude podrobněji rozebrána dále. Finální zaleštění tvaru součásti provede na ručním pracovišti nástrojař. Náročnost na leštění tvaru bude odlišná, součást má totiž po elektroerozi naprosto odlišnou strukturu povrchu než po třískovém obrábění (viz kapitola 3.6, obr. 3.9)

5.2 Návrh nového postupu výroby kovací zápustky

Na základě poznatků z předchozí kapitoly byl ve spolupráci s technologem zpracován následující postup na výrobu klikové zápustky 5-10-3534-1_P1 s kalibrováním tvaru na elektroerozivním hloubícím stroji.

- 1) Dodán vyžíhaný a ofrézovaný blok
- 2) Na CNC stroji s označením FSQ100 je blok zpracován do potřebné síly, šíře a délky s přídatkem pro brus. Ofrézování úkosu a vybrání na čisto, 4x manipulační otvory, 4x M16 ze základny, vyhrubují se otvory pro vyhazovače. Plus frézování vzorků pro technickou kontrolu struktury materiálu.
- 3) Takto ofrézovaný kus přebírá nástrojař. Ten srazí ostré hrany, označí materiál dle čísla výkresu. Vyrazí na vzorcích značku č. “1“ a č. “2“. Vzorek s č.1 ulomí a předá na technickou kontrolu materiálu.
- 4) Dále jde součást do kalírny, kde se tepelně zušlechťí, zakalí a popustí na 49 ± 2 HRC. Součást se dále pískuje a ulomí se vzorek č.2, který se též předá na TK.
- 5) Následuje přerovnání základny hotově, čistě na bruse Favreto 160. A celý kus se úhluje k ploše “A“ (viz orientační výkres v příloze č. 1).
- 6) Na horizontálním vrtacím stroji (horizontální vyvrtávačka WH 100) se vyvrtají 4x na čisto otvory pro vyhazovače a zároveň se délka s ohledem na plochu “B“ (viz orientační výkres v příloze č. 1).
- 7) Hrubování tvaru na CNC stroji výrobce FSQ 100 s přídatkem 0.1mm na plochu.

- 8) Kalibrování tvaru na elektroerozivním hloubícím stroji Charmilles Roboform 810.
- 9) Kontrola tvaru a předešlých operací na kontrolním měřícím stanovišti dle 3D dat.
- 10) Začištění tvaru leštěním na ručním pracovišti, sražení ostrých hran, označení součásti odpovídajícím číslem výroby a pročištění závitů.

5.3 Technologický postup výroby elektrody

Pro potřeby realizace zkoušky elektroerozivním hloubením byl v rámci diplomové práce vypracován technologický postup na výrobu grafitové elektrody. Posléze byl postup ve stručnější podobě zpracován pomocí příslušného softwaru, který používá technologie ve ŠKODA Auto a.s. (obr. 5.0). Ve spolupráci s konstruktérem specializujícím se na tvorbu grafitových elektrod, byla zkonstruována elektroda odpovídajícího tvaru. Odlehčení na tvaru elektrody o pracovní mezeru GAP zajistil programátor, který CAD data podfrézuje o tuto hodnotu. Jako polotovár byl objednáán hranol o rozměrech 476x176x200 mm z dokončovacího grafitu EDM 180 od firmy Poco Graphite, který se běžně používá ve výrobě.

Postup výroby elektrody:

- 1) Dodán grafitový polotovár o výchozích rozměrech 476x176x200 mm.
- 2) Prerovnání výšky, na základně vyvrtat 2x ustavovací díry pro kolíčky o průměru 10 mm a 5x závitové díry pro upnutí elektrody k upínací desce na CNC frézce FIDIA DIGIT 165.
- 3) Následuje ruční vyřezání závitů a montáž na upínací desku.
- 4) Frézování 3D tvaru dle CAD dat na CNC frézce FIDIA DIGIT 165, korekce tvaru - 0,6 mm na plochu.
- 5) Provedení kontroly předešlých operací.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP ŠKODA VSN				70-19-974-1		Datum: 14.11.12		List: 1			
List :	Pozice : 999		Provedení :		Obj.návrh :		Zakázkové číslo :		Obj.ko 1	Číslo dávky : 92164010	
Mat.dílňa			Číslo výkresu : 70-19-974-1P999			Název :			Typ : Č.dílů: 038 105 101 AA		
Jakost mat.:			Hm.:		Pol.:						
Pozn.: N										ID: 1033681	
P.R.:					Technolog : Gonda Tech.MK :				Sch.: Svoboda Konst.:		
Op. Sř.	Tř. Tf.	Nr.1kus Připravny	Pracovité Celkem	Popis operace			NC Program			OTK Os.číslo	
0 4115			00000	Platí pro pos.:999 Rozmery vychoziho materialu u materialove rozpisky 476x176x200 Grafit							
10 4115			35329	vysku prerovnat, na zakladne: 2x D10H7 hotove, 5x D pro M10 hotove							
20 4116			09444	vyrezat zavity, montaz na desku, pripravit pro 35329							
30 4115			35329	***** tvar hotove ***** ----- po zhotoveni tvaru udelat obvodovy ramecek ----- korekce -0.6							
40 4052			08621	Kontrola ukonu oznacenych ***** z predesle operace							

Obr. 5.0 Technologický postup na výrobu grafitové elektrody zpracovaný pomocí softwaru ŠKODA Auto a.s.

5.4 Zpracování CAD/CAM programů

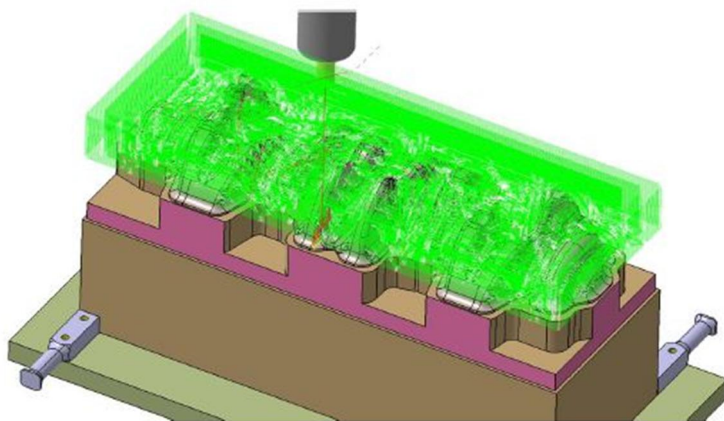
Aby bylo možno realizovat zkoušku elektroerozivním hloubením, bylo nutné zhotovit programy pro samotnou výrobu elektrody. Na pracovišti programátorů CAD/CAM jsem vytvořil obráběcí programy za pomoci CAD/CAM softwaru CATIA V5 r16 podle dodaných konstrukčních dat od konstruktéra. Následně proběhl softwarový převod apt dat do NC souboru pro daný stroj.

Výroba elektrody na kovací zápustku třískovou metodou byla rozdělena do 5 programů. Z důvodů zvýšení tuhosti nástrojové sestavy byla hrubovací operace rozdělena na dva samostatné programy s rozdílnými délkami nástrojů. Návrhy řezných podmínek byly převzaty z tabulek nástrojů pro frézování grafitu a konzultovány s obsluhou stroje. Z důvodů malé tuhosti stroje FIDIA DIGIT 165 bylo možné použít maximální průměr frézy 16 mm a upravit hloubku záběrů. Následkem toho je výsledný hrubovací čas elektrody poměrně dlouhý. Při frézování na čisto bylo dodrženo podfrézování tvaru o hodnotu GAP, která činí 0,6 mm na plochu.

Program první ZK0001 – hrubovací operace (obr. 5.1)

Nástrojem je fréza čelní válcová průměru 16 mm vyložená 53 mm. Je upnuta do kleštiny o průměru 50 mm. Počet otáček 5000 ot/min, posuv 4700 mm/min, a_p 1.5 mm, a_e 4 mm. Způsob obrábění sousledné. Předpokládaný čas hrubování 73 min.

PRACOVNÍ POSTUP/HEI/FID/SINU/MAHO		VSN3	NÁŘAĎOVNA ŠKODA AUTO a.s. Ml.Boleslav
Číslo výkresu	Elektroda	Pořadí programu	1
Číslo operace		Data	
Popis práce	hrubování s přídkem 0,3 mm	Poznámka	
Programátor	Martin Maly	Vyklonění	
Název programu	ZK0001		
Nástroj	T1 D=16 r=2 T1 Tvrdokov D16 R2 L52		
Počet zubů	4	Urychovací hlavička	
Otáčky [1/min]	5900	Posuv [mm/min]	4700
Vc [m/min]	296,57	fn [mm/ot]	0,199
Hloubka záběru ap	1,5	Velikost scallop	-
Cyklos	Roughing.1	Tolerance	0,03
Kopírovací krok ae	4	Způsob obrábění	Climb
Přídavek	-0,3	Poznámka: DRŽÁK	
Jiné zadání (čas) [min]	72,41	POUZDRO	
Počet řádek N		SW CATIA V5R16 SP3	

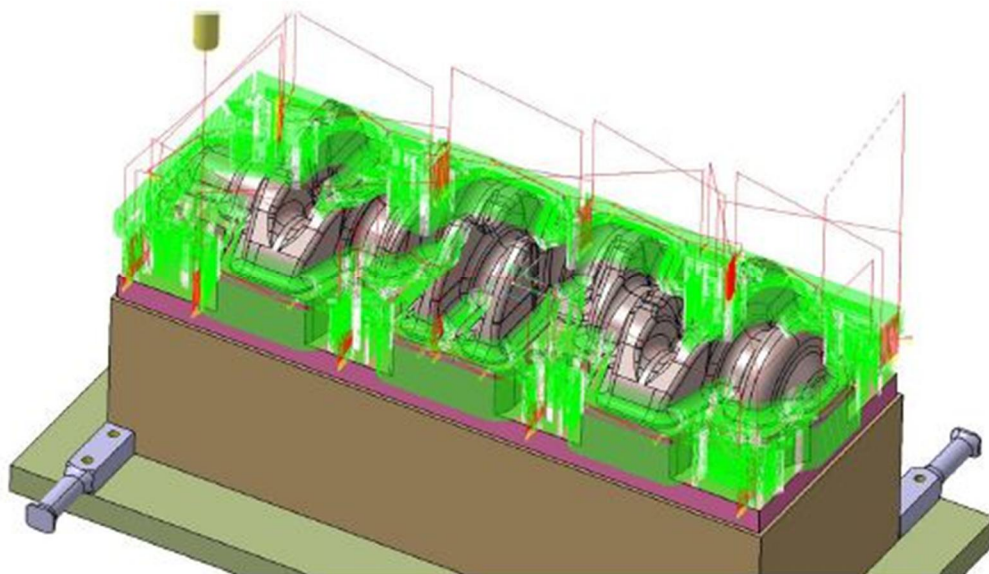


Obr. 5.1 Programový list pro hrubování elektrody s přídkem 0,3 mm frézou průměru 16 mm

Program druhý ZK0002 – hrubovací operace (obr. 5.2)

Nástrojem je fréza čelní válcová průměru 16 mm vyložená 93 mm, upnuta do kleštiny o průměru 50 mm. Počet otáček 5000 ot/min, posuv 4700 mm/min, a_p 1 mm, a_e 4 mm. Způsob obrábění sousledné. Předpokládaný čas hrubování 55 min.

PRACOVNÍ POSTUP/HEI/FID/SINU/MAHO		VSN3	NÁŘAĎOVNA ŠKODA AUTO a.s. Ml.Boleslav
Číslo výkresu	Elektroda	Pořadí programu	2
Číslo operace		Data	
Popis práce	hrubování s přídkem 0,3 mn Poznámka		
Programátor	Martin Maly	Vykonání	
Název programu	ZK0002		
Nástroj	T2 D=16 r=2 T2 Tvrdokov D16 R2 L93		
Počet zubů	4	Urychovací hlavička	
Otáčky [1/min]	5900	Posuv [mm/min]	4700
Vc [m/min]	296,57	fn [mm/ot]	0,199
Hloubka záběru ap	1;1	Velikost scallop	-;-
Cyklus	Roughing.4;Roughing.5	Tolerance	0,01
Kopírovací krok ae	4;4	Způsob obrábění	Climb;Climb
Přídavek	-0,3;0	Poznámka: DRŽÁK	
Jiné zadání (čas) [min]	55,27	POUZDRO	
Počet řádek N		SW CATIA V5R16 SP3	



Obr. 5.2 Programový list pro hrubování elektrody s přídkem 0,3 mm frézou průměru 16 mm

Program třetí ZK0003 – dohrubovací operace (obr. 5.3)

Nástrojem je fréza čelní válcová průměru 8 mm vyložená 65 mm, upnuta do tepelného upínače HSK 50E. Počet otáček 11000 ot/min, posuv 4000 mm/min, a_p 0,5 mm, způsob obrábění sousledné. Předpokládaný čas dohrubování 22 min.

PRACOVNÍ POSTUP/HEI/FID/SINU/MAHO		VSN3	NÁŘAĎOVNA ŠKODA AUTO a.s. Ml.Boleslav
Číslo výkresu	Elektroda	Pořadí programu	3
Číslo operace		Data	
Popis práce	dohrubování zbytků	Poznámka	
Programátor	Martin Maly	Vyklonění	

Název programu	ZK0003		
Nástroj	T3 D=8 r=4		T3 Tvrdokov D8 R4 L65
Počet zubů	4	Urychovací hlavička	
Otáčky [1/min]	11000	Posuv [mm/min]	4000
Vc [m/min]	276,46	fn [mm/ot]	0,091
Hloubka záběru a_p	0,5	Velikost scallop	-
Cyklus	Roughing.2	Tolerance	0,03
Kopírovací krok ae	6,4	Způsob obrábění	Climb
Přídavek	-0,3	Poznámka: DRŽAK	
Jiné zadání (čas) [min]	21,35	POUZDRO	
Počet řádek N		SW CATIA V5R16 SP3	



Obr. 5.3 Programový list pro dohrubování elektrody s přídavkem 0,3 mm frézou průměru 8 mm

Program čtvrtý ZK0004 – dokončovací operace (obr. 5.4)

Nástrojem je fréza čelní válcová průměru 8 mm vyložená 65 mm, upnuta do tepelného upínače HSK 50E. Počet otáček 11000 ot/min, posuv 3000 mm/min, a_p 0,2 mm, a_e 0,2 mm. Způsob obrábění sousledné. Předpokládaný čas kalibrování 226 min.

PRACOVNÍ POSTUP/HEI/FID/SINU/MAHO		VSN3	NÁŘAĎOVNA ŠKODA AUTO a.s. Ml.Boleslav
Číslo výkresu	Elektroda	Pořadí programu	4
Číslo operace		Data	
Popis práce	tvar na čisto	Poznámka	
Programátor	Martin Maly	Vyklonění	

Název programu	ZK0004		
Nástroj	T3 D=8 r=4		T3 Tvrdokov D8 R4 L65
Počet zubů	4	Urychovací hlavička	
Otáčky [1/min]	11000	Posuv [mm/min]	3000
Vc [m/min]	276,46	fn [mm/ot]	0,068
Hloubka záběru ap	0,2;-	Velikost scallop	-;-
Cyklus	ZLevel.3;Sweeping.2	Tolerance	0,01
Kopírovací krok ae	-;0,2	Způsob obrábění	Climb;-
Přídavek	-0,6	Poznámka: DRŽAK	
Jiné zadání (čas) [min]	225,71	POUZDRO	
Počet řádek N		SW CATIA V5R16 SP3	



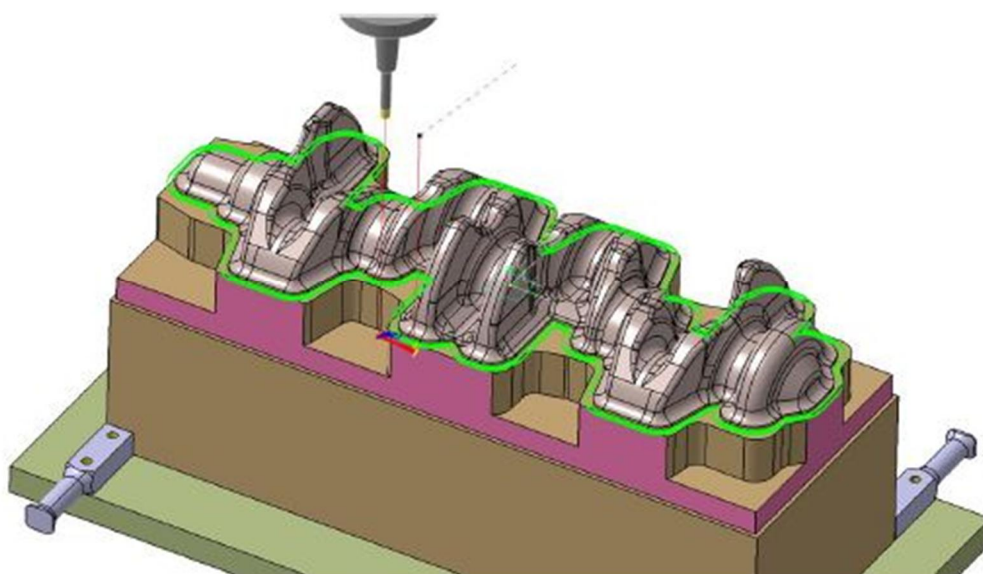
Obr. 5.4 Programový list pro dokončování elektrody frézou průměru 8mm

Program pátý ZK0005 – ohraňovací operace (obr. 5.5)

Nástrojem je fréza čelní válcová průměru 6 mm vyložená 65 mm. Je upnuta do tepelného upínače HSK 50E. Počet otáček 14000 ot/min, posuv 3000 mm/min, a_p 0,3 mm, způsob obrábění sousledné. Předpokládaný čas kalibrování 9 min.

PRACOVNÍ POSTUP/HEI/FID/SINU/MAHO		VSN3	NÁŘAĎOVNA ŠKODA AUTO a.s. Ml.Boleslav
Číslo výkresu	Elektroda	Pořadí programu	5
Číslo operace		Data	
Popis práce	ohranění	Poznámka	
Programátor	Martin Maly	Vyklonění	

Název programu	ZK0005		
Nástroj	T4 D=6 r=0	T4 Tvrdokov D6 R0 L44	
Počet zubů	4	Urychovací hlavička	
Otáčky [1/min]	14000	Posuv [mm/min]	3000
Vc [m/min]	263,89	fn [mm/ot]	0,054
Hloubka záběru a_p	-	Velikost scallop	-
Cyklus	Profile Contouring.1	Tolerance	0,01
Kopírovací krok ae	-	Způsob obrábění	Climb
Přídavek	-0,6	Poznámka: DRŽÁK	
Jiné zadání (čas) [min]	9,17	POUZDRO	
Počet řádek N		SW CATIA V5R16 SP3	



Obr. 5.5 Programový list pro ohraňování elektrody frézou průměru 6 mm

6. Metodika pro porovnání stávající a nové výroby zápustky

6.1 Cíle a podstata porovnání

Cílem porovnání konvenční metody s nekonvenční metodou obrábění je nalézt nejvhodnější způsob kalibrace tvaru následující po hrubování s přídavkem 0,1 mm. Dosáhnout optimálního řešení s minimální časovou náročností a náklady na obrábění.

Veškeré strojní časy budou odečítány z řídicích panelů CNC obráběcích strojů. Ty jsou vybaveny digitálními hodinami s počítadlem čistého frézovacího času. Jednotlivé časové údaje frézovacích programů, budou zaznamenávány obsluhou strojů. Výsledné časy se použijí do vzorců, které vyhodnotí jednotlivé náklady na výrobu. Hodinové sazby strojů a náklady na pracovní sílu (viz kapitola 8.1), jsou zprůměrovány a zkontrolovány s ekonomem pracujícím ve ŠKODA Auto a.s.

6.2 Použité stroje pro zkoušky

Pro frézování elektrody byl zvolen specializovaný stroj pro obrábění grafitu Fidia Digit 165 zobrazený na obr. 6.0 s tabulkou specifikací.

FIDIA DIGIT 165	
Pracovní pojezdy stolu X, Y, Z	1000 x 600 x 500
Systém	Fidia M30
Rozsah otáček	28 000 ot/min
Rychloposuv	27 000 mm/min
Počet os	3



Obr. 6.0 CNC stroj Fidia Digit 165 s tabulkou specifikací

Pro nekonvenční metodu elektroerozivního hloubení byl zvolen CNC řízený hloubicí stroj Charmilles Roboform 810 zobrazený na obr. 6.1. Stroj pracuje převážně v automatickém režimu. Jediné co obsluha stroje doplňuje do NC programu, je odpovídající číslo nastavení generátoru elektrických pulsů dle vzorkovnice výsledných drsností povrchu. Tím se nastaví i další potřebné parametry pro jiskření.



Obr. 6.1 Charmilles Roboform 810

7. Realizace zkoušek na novou technologii

Na zkoušku elektroerozivním obráběním byla dodána vyhrubovaná kliková zá-
pustka (5-10-3534-1_P1) s přídatkem 0,1 mm na tvaru.

Pro realizaci zkoušky bylo nutné vyrobit grafitovou elektrodu. Na grafitovou elek-
trodu byl dodán materiál tvaru hranolu o rozměrech 476x176x200 mm.

7.1 Výroba zkušební elektrody

Hodnoty časů byly sledovány na řídicím panelu stroje Fidia Digit 165.

Jako první operace bylo provedeno hrubování frézou průměru 16 mm s vyložením
53 mm podle dodaného programu s označením ZK0001. Proces byl stabilní, ale z důvodů
brždění a rozjezdu jednotlivých lineárních os stroje při prudké změně směru došlo
k navýšení frézovacího času. Výsledný čas pak dosáhl hodnoty 94 minut.

Následovala druhá hrubovací operace. Průměr nástroje byl zachován, ale jeho vy-
ložení bylo navýšeno na 93 mm. Díky odlišně nastavené hloubce řezu se operace jevila
opět jako stabilní. Z důvodů lineárního rozběhu a brždění jednotlivých os při prudkých
změnách směru byl výsledný čas 67 min.

Třetí operace dohrubování tvaru, na kterou byl použit nástroj průměru 8 mm s vy-
ložením 65 mm, se díky velkému počtu přejezdů prodloužila o 7 minut proti teoretickému
výpočtu na celkových 29 min.

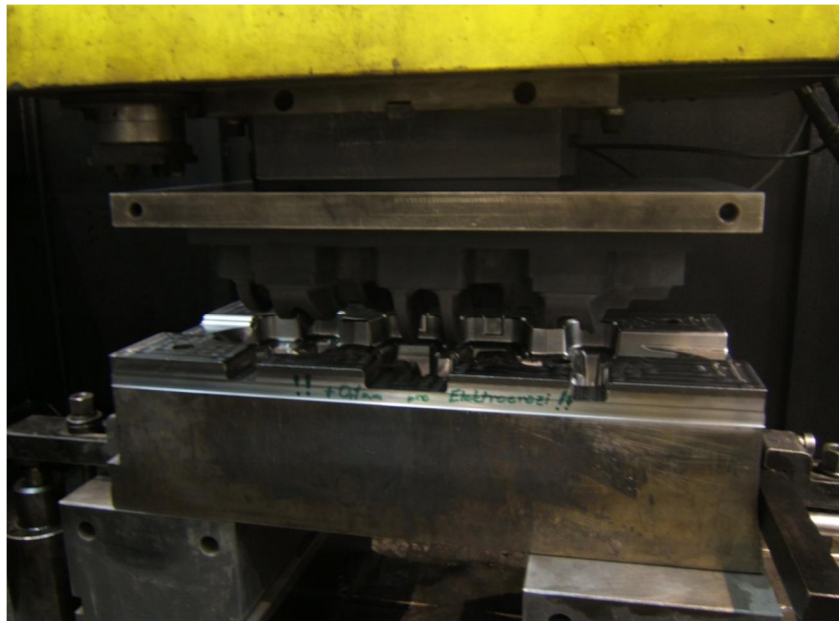
Čtvrtá v pořadí byla operace s označením ZK0004. Na tuto operaci byl použit ná-
stroj o průměru 8 mm s vyložením 65 mm. Jednalo se o operaci frézování tvaru na čisto,
u kterého je velmi důležitá výsledná drsnost povrchu obrobené součásti. Po dohodě
s obsluhou a následné vizuální kontrole povrchu součásti, byly upraveny následující řezné
parametry. Řezný posuv byl redukován z 3000 na 2700 mm/min a otáčky navýšeny na
12000 ot/min. Díky tomu byla dosažena potřebná kvalita povrchu. To se následně projevi-
lo na prodloužení výsledného času na hodnotu 258 min.

Poslední proběhlou operací s označením ZK0005 byly sraženy hrany na odstupu
tvaru. Použitá fréza průměru 6 mm s vyložením 65 mm dokončila tvar bez zjevného opo-
třeбенí bříty. Celkový čas ohraňovací operace byl 12 min.

Celková doba výroby grafitové elektrody se vyšplhala na 460 min. Rozdíl oproti
předpokládanému výrobnímu času tak činí 76 min. Hlavním důvodem takového nárůstu
výrobního času je lineární brždění os stroje při rychlé změně směru frézování.
V neposlední řadě je tento nárůst času dán snížením frézovacího posuvu při obrábění na
čisto v programu ZK0004 z důvodů dosažení požadované drsnosti povrchu součásti.

7.2 Zkouška vyjiskřováním klikové zápustky

Hodnoty času obrábění byly sledovány na řídicím panelu stroje. Jako vstupní parametry byly zadány souřadnice ustavení zápustky vůči elektrodě a podrozměr elektrody který je 0,6 mm. Ustavení zápustky a elektrody je zobrazeno na obr. 7.0.



Obr. 7.0 Ustavení zápustky a elektrody na stroji Roboform 810

Proces kalibrace byl řízen automatickým systémem stroje a spočíval v postupném odebrání 0,1 mm přídavku na celkové ploše tvaru zanechaném předchozí operací hrubování na CNC frézce. Tato desetina je odebírána v několika po sobě jdoucích krocích s vlastním nastavením generátoru elektrických pulsů. Generátor postupně snižuje hodnoty proudů až do finální fáze začištění s nulovým přídavkem materiálu na tvaru zápustky. Při procesu obrábění nedocházelo k velkému hromadění nečistot díky pulsnímu systému vyplachování v kombinaci s vnějším oplachem. Celková doba kalibrace elektroerozivním hloubením trvala 10 hodin a 54 minut, což bylo zapříčiněno starším datem výroby elektroerozivního stroje. Ten totiž neumožňuje plynulé nastavení pulzů generátoru. Na elektrodě byly vidět jen malé známky opotřebení. Elektrodu je tedy možné znovu použít pro kalibraci tvaru další klikové zápustky.

7.3 Ruční opracování klikové zápustky

Po elektroerozivním hloubení celý tvar přebrousil a přešel nástrojař. Přesto že byla struktura povrchu odlišná (viz kapitola 3.6, obr. 3.9) a dělník musel zvolit jiný typ brousicího nástroje, byla výsledná doba leštění srovnatelná s předešlým časem opracování po frézování.

8. Porovnání frézovací a elektroerozivní metody obrábění

8.1 Ceny nástrojů, materiálu a práce

Nástroje frézovací na kalený materiál:

Kopírovací fréza průměru 8 mm	(F _{d8K})	841 Kč
-------------------------------	---------------------	--------

Frézovací nástroj je použit při frézování na čisto do jeho otupení, poté se musí přeostřit a přepovlakovat.

Nástroje frézovací na grafit:

Fréza čelní válcová průměru 16 mm	(F _{d16G})	1 471 Kč
-----------------------------------	----------------------	----------

Kopírovací fréza průměru 8 mm	(F _{d8G})	780 Kč
-------------------------------	---------------------	--------

Fréza čelní válcová průměru 6 mm	(F _{d6G})	311 Kč
----------------------------------	---------------------	--------

K cenám těchto nástrojů je přiřazena jejich průměrná životnost a to 60 hod. čistého frézovacího času z důvodů zpřesnění výpočtu nákladů při výrobě elektrody.

Náklady na materiál:

Poco Graphite EDM 180	(CG ₁₈₀)	1 236,5 Kč/dm ³
-----------------------	----------------------	----------------------------

Náklady na grafitový polotovar EDM 180 jsou dány poměrem ceny k objemu.

Režijní hodinové sazby strojů:

Tajmac MCFV1680	(RHS _T)	370 Kč/hod
-----------------	---------------------	------------

Fidia Digit 165	(RHS _F)	354 Kč/hod
-----------------	---------------------	------------

Charmilles Roboform 810	(RHS _R)	374 Kč/hod
-------------------------	---------------------	------------

Jednotlivé hodinové sazby strojů jsou složeny z odpisů daného stroje, nákladů na jeho údržbu, režie na pomocné nářadí, energetickou náročností stroje a ostatní nevýrobní náklady (např. techničtí zaměstnanci ve VSN3).

Náklady na pracovní sílu	(NPS)	174 Kč/hod
--------------------------	-------	------------

8.2 Náklady na kalibraci jedné klikové zápustky konvenční metodou

Na kalibraci jsou potřeba dvě kopírovací frézy průměru 8 mm (viz kapitola 4.5). Jednorázová cena nářadí na kalibraci jedné klikové zápustky (JC_{fz}) byla stanovena jako součet použitých fréz.

$$JC_{fz} = P_{NK} \cdot F_{d8K} = 2 \cdot 841 = 1\,682 \text{ Kč} \quad (1)$$

kde JC_{fz} jednorázová cena nářadí na kalibraci 1 zápustky [Kč],
 P_{NK} počet nástrojů na kalibraci [ks.],
 F_{d8K} cena frézy $\varnothing 8\text{mm}$ [Kč].

Náklady na kalibraci jedné klikové zápustky frézováním (NK_f).

$$NK_f = JC_{fz} + (RHS_T + NPS) \cdot (T_{1k} + T_{2k}) \quad (2)$$

$$NK_f = 1\,682 + (370 + 174) \cdot (6,567 + 2,467)$$

$$NK_f = 6\,585,6 \text{ Kč}$$

kde T_{1k} čas frézování svislých ploch tvaru na čisto [hod],
 T_{2k} čas frézování horizontálních ploch tvaru na čisto [hod],
 RHS_T ... režijní hodinová sazba stroje Tajmac [Kč/hod],
 NPS náklady na pracovní sílu [Kč/hod],
 NK_f náklady na kalibraci 1 klikové zápustky frézováním [Kč].

8.3 Náklady na kalibraci jedné klikové zápustky nekonvenční metodou

Zde jsou jednorázové náklady tvořené součtem ceny materiálu potřebného na tvarovou elektrodu a výrobní ceny tvarové elektrody. Pro stanovení ceny polotovaru na tvarovou elektrodu bylo nutno určit jeho objem (V_{El}) v dm^3 . Velikost polotovaru pro výrobu tvarové elektrody je 476mm x 176mm x 200mm.

$$V_{El} = 476 \cdot 176 \cdot 200 = 16\,755.200 \text{ mm}^3 = 16,756 \text{ dm}^3 \quad (3)$$

Jednorázová cena nářadí na výrobu tvarové elektrody (JC_{NE}) spočítána s ohledem na 60 hodinovou životnost nástrojů.

$$JC_{NE} = F_{d16G} \cdot \left(\frac{T_{ZK0001} + T_{ZK0002}}{60} \right) + F_{d8G} \cdot \left(\frac{T_{ZK0003} + T_{ZK0004}}{60} \right) + F_{d6G} \cdot \left(\frac{T_{ZK0005}}{60} \right) \quad (4)$$

$$JC_{NE} = 1\,471 \cdot \left(\frac{1,567 + 1,117}{60} \right) + 780 \cdot \left(\frac{0,483 + 4,3}{60} \right) + 311 \cdot \left(\frac{0,2}{60} \right)$$

$$JC_{NE} = 129 \text{ Kč}$$

kde	$T_{ZK0001} \dots$	čas hrubování elektrody frézou \varnothing 16mm [hod],
	$T_{ZK0002} \dots$	čas dohrubování elektrody frézou \varnothing 16mm [hod],
	$T_{ZK0003} \dots$	čas dohrubování elektrody frézou \varnothing 8mm [hod],
	$T_{ZK0004} \dots$	čas kalibrování elektrody frézou \varnothing 8mm [hod],
	$T_{ZK0005} \dots$	čas ohranění elektrody frézou \varnothing 6mm [hod],
	$JC_{NE} \dots$	poměrná cena nářadí na výrobu tvarové elektrody [Kč].

Celkový čas výroby grafitové elektrody (T_{El}) z hrubého polotovaru.

$$T_{El} = T_{ZK0001} + T_{ZK0002} + T_{ZK0003} + T_{ZK0004} + T_{ZK0005} \quad (5)$$

$$T_{El} = 1,56 + 1,117 + 0,483 + 4,3 + 0,2$$

$$T_{El} = 7,66 \text{ Hod}$$

Vstupní výrobní cena tvarové elektrody (VC_{TE}) při koupi nového polotovaru.

$$VC_{TE} = JC_{NE} + V_{El} \cdot CG_{180} + T_{El} \cdot (RHS_F + NPS) \quad (6)$$

$$VC_{TE} = 129 + 16,756 \cdot 1\,236,5 + 7,66 \cdot (354 + 174)$$

$$VC_{TE} = 24\,892,3 \text{ Kč}$$

kde	$T_{El} \dots$	celkový čas výroby tvarové elektrody [hod],
	$JC_{NE} \dots$	poměrná cena nářadí na výrobu tvarové elektrody [Kč],
	$CG_{180} \dots$	cena grafitu EDM 180 [Kč/dm ³],
	$V_{El} \dots$	objem polotovaru na grafitovou elektrodu [dm ³],
	$VC_{TE} \dots$	vstupní výrobní cena tvarové elektrody [Kč].

Dále jsou zde uvedeny náklady na kalibraci jedné kovací zápustky elektroerozivním hloubením (NK_E), která zahrnuje předešlé náklady na výrobu tvarové elektrody.

$$NK_E = VC_{TE} + (RHS_R + NPS) \cdot T_h \quad (7)$$

$$NK_E = 24\,892,3 + (374 + 174) \cdot 10,9$$

$$NK_E = 30\,865,5 \text{ Kč}$$

kde	$T_h \dots$	čas elektroerozivního hloubení [hod],
	$NK_E \dots$	náklady na kalibraci jedné klikové zápustky elektroerozivním hloubením [Kč].

8.4 Porovnání obou metod s ohledem na celkové náklady za rok

Z předešlých výpočtů je zřejmé, že náklady na kalibraci jedné klikové zápustky elektroerozivním hloubením jsou pětikrát vyšší, než činí náklady na výrobu zápustky konvenční metodou. To je způsobeno především vysokou pořizovací cenou grafitu a samotnou výrobou elektrody. Ze zkušeností s elektroerozivním hloubením se předpokládá, že elektroda za svoji životnost vyjiskří 5 zápustek. Poté je nutno elektrodu renovovat. Není tedy potřeba kupovat nový polotovar z grafitu. Renovace elektrody spočívá v jejím tvarovém překalibrování o 4 mm. Renovace se provede na CNC stroji Fidie, ale pouze kopírovacími programy s označením ZK0004 a ZK0005. Celková délka těchto dvou programů je 4,5 hod. (viz kapitola 7.1). Maximální počet snížení, za kterých je elektroda funkční činí 35, poté je nutné koupit nový polotovar. Proto je pro porovnání obou výrobních metod vhodnější zahrnout do výpočtů celý kalendářní rok výroby. V závodě na výrobu nářadí bylo za minulý kalendářní rok 2011 vyrobeno 178 zápustek na klikovou hřídel s označením 5-10-3534-1_P1. Budeme tedy předpokládat roční výrobu 178 kusů za rok.

a) Nejprve se zaměříme na rozbor celkových nákladů na kalibraci 178 kusů za kalendářní rok konvenční metodou (CN_{KF178}).

Celkový počet nástrojů potřebných na kalibrování klikové zápustky

$$\text{fréza } \varnothing 8 \text{ mm} \quad NF_{d8K} = 2 \text{ ks}$$

Cena nástroje

$$\text{fréza } \varnothing 8 \text{ mm} \quad F_{d8K} = 841 \text{ Kč}$$

Frézu je možné nechat pětikrát přeastřit a přepovlakovat ($PP = 5$).

Cena renovace

$$\text{fréza } \varnothing 8 \text{ mm} \quad RF_{d8K} = 210 \text{ Kč}$$

Celkový počet nástrojů potřebných na výrobu 178 kusů ($N=178$) se stanoví podle vztahu (8).

Potřebný počet nástrojů na výrobu 178 kusů za rok.

$$NCF_{d8K} = NF_{d8K} \cdot N \quad (8)$$

$$NCF_{d8K} = 2 \cdot 178$$

$$NCF_{d8K} = 356 \text{ ks./rok}$$

kde N počet vyrobených zápustek za rok [ks/rok],

NF_{d8K} počet nástrojů potřebných na výrobu jedné zápustky [ks],

NCF_{d8K} celkový počet nástrojů $\varnothing 8 \text{ mm}$ na rok [ks/rok].

Celkový počet nakoupených nástrojů se sníží úměrně k počtu přestřelení a jednomu použití nástroje před renovací. Počet nástrojů pro kalibraci klikové zápustky, které je tedy nutno za jeden kalendářní rok nakoupit, je určen vztahem (9).

$$SNCF_{d8K} = NCF_{d8K} / (PP + 1) \quad (9)$$

$$SNCF_{d8K} = 356 / (5 + 1)$$

$$SNCF_{d8K} \cong 60 \text{ ks/rok}$$

kde $SNCF_{d8K} \dots$ počet nových nástrojů $\varnothing 8$ mm potřebných za rok [ks/rok],
 $NCF_{d8K} \dots$ celkový počet nástrojů $\varnothing 8$ mm na rok [ks/rok],
 $PP \dots$ počet možných renovací nástroje [-].

Celkový počet provedených renovací nástrojů za jeden rok kalibrace klikové zápustky je tedy $CPP_{d8K} = 296$ ks/rok.

Pro kalibraci 178 kusů zápustek jsou náklady na nákup nových fréz $\varnothing 8$ mm uvedeny ve vztahu (10) a náklady na renovaci fréz $\varnothing 8$ mm uvedeny ve vztahu (11)

$$NNF_{fz178} = SNCF_{d8K} \cdot F_{d8K} = 60 \cdot 841 = 50\,460 \text{ Kč/rok} \quad (10)$$

$$NRF_{fz178} = CPP_{d8K} \cdot RF_{d8K} = 296 \cdot 210 = 62\,160 \text{ Kč/rok} \quad (11)$$

kde $NNF_{fz178} \dots$ náklady na nákup fréz $\varnothing 8$ mm za rok [Kč/rok],
 $NRF_{fz178} \dots$ náklady na renovaci fréz $\varnothing 8$ mm za rok [Kč/rok],
 $CPP_{d8K} \dots$ celkový počet renovací za rok [-].

Nyní lze stanovit celkové náklady (vztah č.12) na kalibraci klikové zápustky při celkové výrobě 178 kusů za rok.

$$CN_{KF178} = NNF_{fz178} + NRF_{fz178} + (RHS_T + NPS) \cdot (T_{1k} + T_{2k}) \cdot N \quad (12)$$

$$CN_{KF178} = 50\,460 + 62\,160 + (370 + 174) \cdot (6,567 + 2,467) \cdot 178$$

$$CN_{KF178} = \mathbf{987\,400,3 \text{ Kč/rok}}$$

kde $CN_{KF178} \dots$ celkové náklady na kalibraci 178 kusů frézováním [Kč/rok],
 $T_{1k} \dots$ čas frézování svislých ploch tvaru na čisto [hod],
 $T_{2k} \dots$ čas frézování horizontálních ploch tvaru na čisto [hod],
 $RHS_T \dots$ režijní hodinová sazba stroje Tajmac [Kč/hod],
 $NPS \dots$ náklady na pracovní sílu [Kč/hod],
 $N \dots$ počet vyrobených zápustek za rok [ks/rok].

b) Pro výpočet celkových nákladů na kalibraci 178 kusů nekonvenční metodou je třeba do výpočtu započítat cenu každého snížení elektrody. Do ceny snížení jsou započteny náklady na nástroje v poměru k jejich deklarované životnosti.

Cena nářadí na tvarové elektrody (JC_{NEs}) spočítaná s ohledem na 60 hodinovou životnost nástrojů při překalibrování elektrody o 4 mm.

$$JC_{NEs} = F_{d8G} \cdot \left(\frac{T_{ZK0004}}{60} \right) + F_{d6G} \cdot \left(\frac{T_{ZK0005}}{60} \right) \quad (13)$$

$$JC_{NEs} = 780 \cdot \left(\frac{4,3}{60} \right) + 311 \cdot \left(\frac{0,2}{60} \right)$$

$$JC_{NEs} = 56,9 \text{ Kč}$$

kde	$T_{ZK0004} \dots$	čas kalibrování elektrody frézou \varnothing 8 mm [hod],
	$T_{ZK0005} \dots$	čas ohraňování elektrody frézou \varnothing 6 mm [hod],
	$JC_{NEs} \dots$	poměrná cena nářadí na renovaci tvarové elektrody [Kč],
	$F_{d8G} \dots$	cena frézy na grafit \varnothing 8 mm [Kč],
	$F_{d6G} \dots$	cena frézy na grafit \varnothing 6 mm [Kč].

Další důležitou položkou je výrobní cena elektrody při jejím snížení o 4 mm. Na tuto operaci snížení lze, jak již bylo napsáno v úvodním odstavci, použít pouze program kalibrovací (T_{ZK0004}) s kopírovací frézou průměru 8mm a program ohraňovací (T_{ZK0005}) s frézou průměru 6mm. Celkový čas snižování je v následujícím vzorci (14), po kterém následuje výpočet nákladů na celkovou renovaci elektrody.

$$T_{Els} = T_{ZK0004} + T_{ZK0005} \quad (14)$$

$$T_{Els} = 4,3 + 0,2$$

$$T_{Els} = 4,5 \text{ hod}$$

Výrobní cena snižování tvarové elektrody (VC_{TEs}) po opotřebování tvaru.

$$VC_{TEs} = JC_{NEs} + T_{Els} \cdot (RHS_F + NPS) \quad (15)$$

$$VC_{TEs} = 56,9 + 4,5 \cdot (354 + 174)$$

$$VC_{TEs} = 2\,432,9 \text{ Kč}$$

kde	$VC_{TEs} \dots$	výrobní cena snižování tvarové elektrody [Kč],
	$T_{Els} \dots$	čas snižování tvarové elektrody [hod],
	$JC_{NEs} \dots$	poměrná cena nářadí na renovaci tvarové elektrody [Kč]
	$RHS_F \dots$	režijní hodinová sazba stroje Fidia [Kč/hod],

Celkové náklady na kalibraci 178 kusů za kalendářní rok nekonvenční metodou (CN_{KE178}) se vypočítají ze vztahu (16). Vzorec obsahuje náklady na výrobu jedné kovací zápustky i náklady při následných snižovacích operacích potřebných k výrobě.

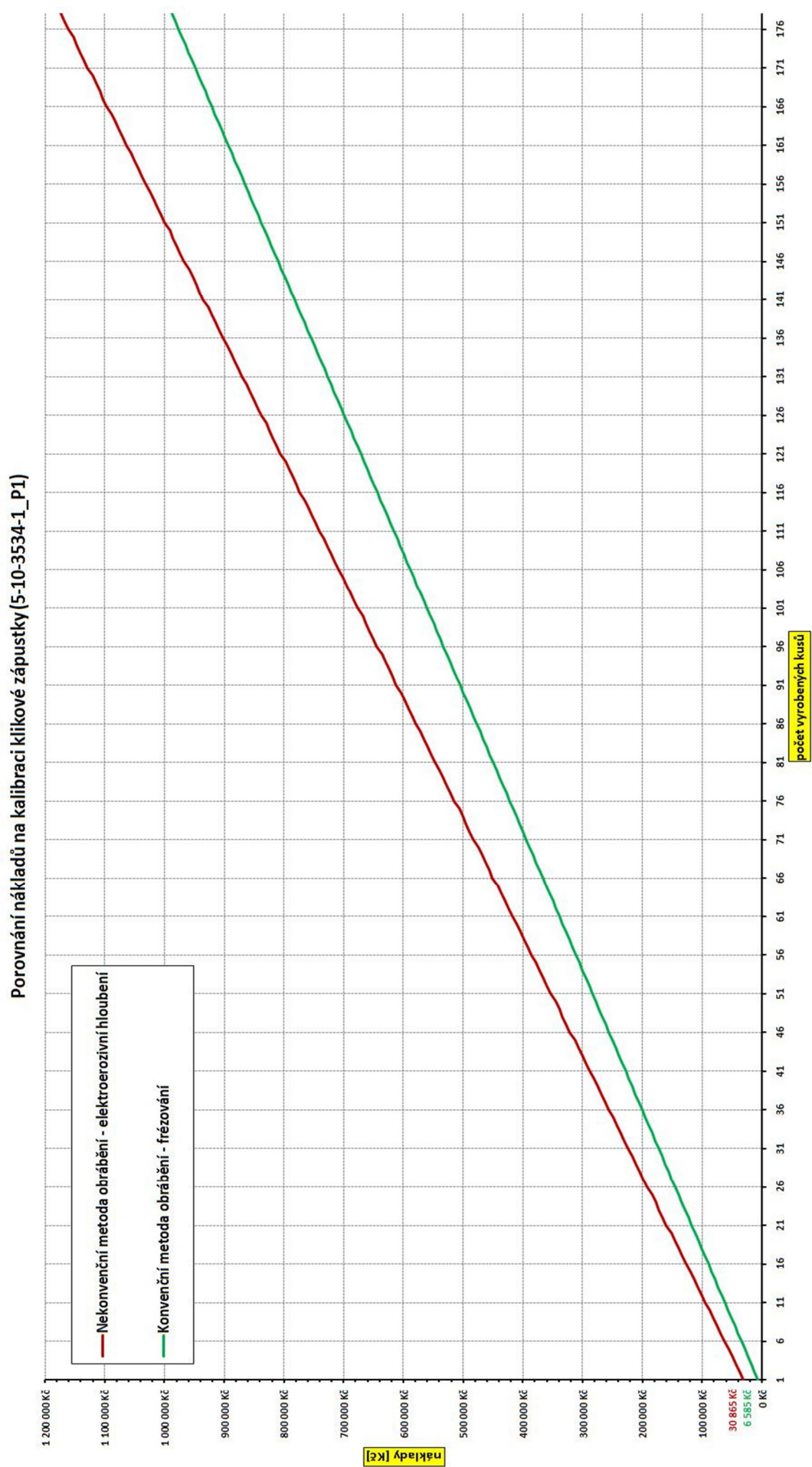
$$CN_{KE178} = VC_{TE} + (N - N_E) \cdot \frac{CPS_E \cdot VC_{TEs}}{CPS_E \cdot N_E} + N \cdot (RHS_R + NPS) \cdot T_h \quad (16)$$

$$CN_{KE178} = 24\,892,3 + 173 \cdot \frac{35 \cdot 2.432,9}{35 \cdot 5} + 178 \cdot (374 + 174) \cdot 10,9$$

$$CN_{KE178} = 1\,172\,300,2 \text{ Kč/rok}$$

kde	$CN_{KE178}...$	celkové náklady na kalibraci 178 kusů elektroerozí [Kč/rok],
	$CPS_E.....$	celkový počet snížení elektrody [-],
	$VC_{TEs}.....$	výrobní cena snížení tvarové elektrody [Kč],
	$VC_{TE}.....$	vstupní výrobní cena tvarové elektrody [Kč]
	$RHS_T.....$	režijní hodinová sazba stroje Tajmac [Kč/hod],
	$NPS.....$	náklady na pracovní sílu [Kč/hod],
	$T_h.....$	čas elektroerozivního hloubení [hod],
	$N_E.....$	počet vyrobených zápustek do renovace elektrody [ks],
	$N.....$	počet vyrobených zápustek za rok [ks/rok].

Kalibrace tvaru kovací zápustky s označením 5-10-3534-1_P1 pro předkování kličkové hřídele elektroerozivním hloubením by byla ročně dražší o **193 899,9 Kč** než stávající výroba CNC frézováním. Následující graf č. 1 se zabývá porovnáním nákladů obou metod obrábění při určitém počtu vyrobených kusů, je na něm zřetelně vidět rostoucí rozdíl nákladů mezi konvenční a nekonvenční technologií.



Graf č. 1

9. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků

Tato bakalářská práce se zabývala studiem procesu obrábění tvaru na kovací zápustce pro klikovou hřídel s interním označením 5-10-3534-1_P1 ve firmě ŠKODA Auto a.s. Mladá Boleslav a to se zaměřením na kalibrovací operaci (obrábění tvaru hotově).

V úvodu jsou shrnuty poznatky z technologie frézování a CNC řídicí techniky. Dále je rozebrána nekonvenční technologie obrábění se zaměřením na metodu elektroerozivního hloubení.

V další části bakalářské práce se pojednává o struktuře závodu na výrobu nářadí VN. Zjednodušenou formou je nastíněn celý výrobní cyklus dílů v oddělení VSN3, které se zabývá výrobou metalurgického nářadí. Dále je v této kapitole proveden rozbor stávajícího postupu výroby kovací zápustky na klikovou hřídel s interním označením 5-10-3534-1_P1. Na tuto součást byla provedena podrobná analýza kalibrovací operace, která se v současné době provádí na CNC frézce s označením Tajmac MCFV1680. Kalibrovací operace je složena ze dvou samostatných NC programů. Po každé ze dvou fází kalibrace bylo třeba vyměnit otupený nástroj za nový. Použité nástroje byly tedy dvě čelní válcové frézy o průměru 8mm. Celkový frézovací čas kalibrace činil 9 hodin a 3 minuty.

V páté části bakalářské práce byl navrhnout nový technologický postup výroby s finálním elektroerozivním obráběním. Díky dobré technologii a dostupnosti kvalitních nástrojů na obrábění kalené nástrojové oceli nebylo výhodné pozměňovat celý výrobní postup dílu. Změna se týkala výhradně kalibrovací operace, na kterou byla aplikována technologie elektroerozivního hloubení. Dále byla navrhována, zkonstruována a vyrobena tvarová elektroda z grafitu od firmy Poco Graphite s označením EDM 180. Technologický postup výroby tvarové elektrody a zpracované CAD/CAM programy byly vytvořeny na základě vlastních zkušeností a pod odborným dohledem.

Další kapitola se zabývala přípravou na porovnání obou metod kalibrování klikové zápustky. Byly zde popsány potřebné stroje k provedení následných zkoušek.

Realizace zkoušek byla rozdělena na dvě etapy. První etapou byla výroba tvarové elektrody na CNC stroji Fidia Digit 165. Výsledný výrobní čas grafitové elektrody byl 7 hodin a 40 minut. Následně proběhla zkouška kalibrace elektroerozivním hloubením. Zkouška se provedla na stroji Charmilles Roboform 810. Proces kalibrace byl řízen automatickým systémem stroje, generátor postupně snižoval hodnoty proudů až do finální fáze začištění s nulovým přírůstkem materiálu na tvaru zápustky. Při procesu obrábění nedocházelo k velkému hromadění nečistot díky pulsnímu systému vyplachování v kombinaci s vnějším oplachem. Celková doba kalibrace elektroerozivním hloubením činila 10 hodin a 54 minut. Na elektrodě byly vidět jen malé známky opotřebení. Elektrodu je tedy možné znovu použít pro kalibraci tvaru klikové zápustky.

V poslední části bakalářské práce bylo provedeno ekonomické hodnocení kalibrace klikové zápustky. Hodnocení zde bylo rozděleno do tří kapitol. První kapitola se zabývala náklady na kalibraci jedné klikové zápustky provedené frézováním. Zde náklady na

dokončení vyšly na 6 585,6 Kč. Tato částka obsahovala režijní hodinovou sazbu stroje Tajmac MCFV1680 [Kč/hod], náklady na pracovní sílu [Kč/hod], celkové časy frézování [hod] a náklady na použité frézy [Kč]. Ve druhé části hodnocení byly spočítány celkové náklady na kalibraci jedné zápustky nekonvenční metodou elektroerozivním hloubením. Cena kalibrování touto metodou dosáhla částky 30 865,5 Kč. Výsledná částka obsahovala režijní hodinovou sazbu strojů Fidia Digit 165 a Charmilles Roboform 810 [Kč/hod], náklady na pracovní síly [Kč/hod], celkové časy frézování elektrody [hod], celkový čas elektroerozivního hloubení [hod] a náklady na použité frézy [Kč]. Velký nárůst ceny byl zapříčiněn vysokou pořizovací cenou grafitu a jeho následné opracování na CNC stroji. Bylo tedy na první pohled zřejmé, že tyto vstupní náklady nemohly být podkladem pro porovnání. Proto se ve třetí a poslední části této kapitoly zaměřilo na celkový počet 178 vyrobených kusů za rok. Jako první byly vyčísleny celkové náklady na kalibraci 178 kusů za kalendářní rok konvenční metodou a činily 987 400,3 Kč/rok. Ze zkušeností s elektroerozivním hloubením se předpokládalo, že elektroda za svoji životnost vyjiskří 5 zápustek. Poté bylo nutno elektrodu renovovat. Nebylo tedy potřeba kupovat nový polotovar z grafitu, což pozitivně ovlivnilo výsledné náklady. Celkové náklady na kalibraci 178 kusů za kalendářní rok nekonvenční metodou činily 1 172 300,2 Kč/rok. Výsledný rozdíl ročních nákladů na kalibraci klikové zápustky mezi konvenční a nekonvenční technologií výroby byl **193 899,9 Kč/rok**.

Kalibrace kovací zápustky se tedy vyplatí zhotovovat pouze metodou CNC frézování a to bez ohledu na roční objem výroby tohoto dílu, jak ukazuje graf č. 1 (viz kapitola 8.4) který porovnává obě technologie z hlediska jejich výrobních nákladů.

10. Seznam použité literatury:

1. ŘASA, J., GABRIEL, V., *Strojírenská technologie 3 - 1.díl - Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 1. vyd. Praha: Scientia, spol. s.r.o., 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
2. MORÁVEK, R., *Nekonvenční metody obrábění*. Rec. FAJT, J. 2. vyd. Plzeň: ZČU, 1999. 102 s. ISBN 80-7082-518-9.
3. FOREJT, M., PÍŠA, M., *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT, Cerm, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. ŠTULPA, M., *CNC obráběcí stroje*. 1. vyd. Praha: Ben – technická literatura, 2006. 128 s. ISBN 80-7300-207-8.
5. MLEJNEK, M., *Návrh hospodárneho postupu obrábění tvarových částí tlakových forem pro lití hliníkových slitin ve firmě ŠkodaAuto Mladá Boleslav. [Diplomová práce]*. Liberec, TU v Liberci, 2005. 76 s.
6. ČUMPL, D., *Trendy vývoje elektroerozivních hloubících strojů. [Diplomová práce]*. Brno, VUT v Brně, 2008. 65 s.
7. PATRICK DE VOS., *Příručka pro technology – Jak rozpoznat správné utváření třísek*. *MM Průmyslové spektrum*. Duben, 2012, č. 4. s. 80 - 81. ISSN 1212-2572.
8. Škoda Auto, a.s., Mladá Boleslav: *Historie vývoje a výroby náradí 1900 - 2010.*, 2010., 27 s.

11. Seznam příloh:

Příloha č. 1 : orientační výkres zápustky pro klikovou hřídel s označením 5-10-3534-1_P1

Příloha č. 1

